UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA

Por Dentro das Marés

João Henrique de Souza Dantas

Auta Stella de Medeiros Germano

Néstor Eduardo Camino

Natal/RN

2020

Apresentação

Olá, colega professor(a) ou futuro(a) professor(a)!

Este material compõe um produto educacional desenvolvido em uma pesquisa de mestrado profissional realizado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (PPGECNM) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Ele tem como objetivo colaborar no ensino de um fenômeno astronômico que está associado aos nossos queridos oceanos. Pode ser que para algumas pessoas não haja nada de astronômico nele, tendo e vista que é um fenômeno que ocorre tão próximo a nós. Estamos falando das marés.

Este fenômeno relaciona-se a diversos fatores. Nós, seres humanos, nos beneficiamos das riquezas dos oceanos de várias formas, como a pesca, locomoção em embarcações, exploração de recursos minerais, e ainda como um ambiente de lazer e prática de esportes. Todas essas atividades estão sujeitas ao fenômeno das marés. Contudo, elas não influenciam apenas as atividades relacionadas a nós, mas os ecossistemas marinhos em geral, principalmente na faixa costeira dos oceanos. Nos mangues, recifes de corais, nas desovas das tartarugas e nos comportamentos de diversos animais que têm a praia como seu habitat natural, as marés são de fundamental importância. Percebemos, assim, um forte potencial interdisciplinar no ensino das marés para a Educação Básica.

A origem desse trabalho se deu pela nossa percepção de que, apesar de ser um fenômeno tão relevante para o nosso planeta, o ensino das marés, via de regra não é explorado durante a Educação Básica. Em comum a alguns colegas professores, só tivemos estudos sistematizados sobre marés no Ensino Superior.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é o principal documento atual que direciona o currículo da Educação Básica no Brasil. Lá, não há nenhuma menção específica para as marés, no entanto, na seção do Ensino de Ciências para o Ensino Médio, um dos grandes temas usados para indicar os conteúdos da área, denominado Vida, Terra e Cosmos, aponta, como parte destes, o estudo da dinâmica dos astros presentes no "Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente" (BRASIL, 2018, p. 549). Com isso, apesar da ausência de referência mais específica ao estudo das marés naquele texto, vemos aí a possibilidade de exploração do fenômeno, no que se refere às causas astronômicas dele.

Nessa perspectiva, apresentamos, aqui, alguns conhecimentos que, acreditamos, poderão lhe auxiliar na produção de uma aula, uma sequência didática, ou um projeto em sua escola, através do qual você possa explorar com seus alunos esse fenômeno tão instigante que acontece com as águas dos oceanos.

As marés afetam mais diretamente as cidades litorâneas, logo, os colegas que trabalham em escolas situadas nessas cidades estarão apresentando e problematizando algo até certo ponto familiar aos seus alunos, ao propiciar a eles o estudo desse tema. Como sabemos, a compreensão atual deste fenômeno faz uso do conceito de força gravitacional, tão frequente nas aulas de Física ao longo do Ensino Médio. Porém, mesmo para quem reside distante do litoral e não é tão familiarizado com praias, ao estudar o conceito de gravitação, pode aprender sobre as marés como uma consequência desse tipo de interação envolvendo nosso planeta, a Lua e o Sol.

Acreditamos que este material poderá lhe ajudar a se inteirar da importância desse fenômeno para alguns aspectos relacionados à nossa sociedade e para alguns fatores ligados ao meio ambiente, aos quais as marés estão diretamente associadas.

Iremos recorrer a algumas discussões históricas sobre as principais teorias produzidas para explicar as marés, e mais especificamente, sobre a Teoria do Equilíbrio, desenvolvida principalmente por Isaac Newton. Veremos que essa teoria consegue explicar a causa astronômica das marés e alguns aspectos do fenômeno utilizando conhecimentos que você costuma trabalhar com os seus alunos do Ensino Médio.

Apresentaremos também os resultados de uma pesquisa que desenvolvemos em duas escolas do estado do Rio Grande do Norte, na qual buscamos obter uma mostra sobre o que os alunos do Ensino Médio pensam sobre as marés e suas causas, previamente ao estudo do tema. Dialogando com textos que encontramos na literatura, compartilharemos com vocês alguns dos resultados encontrados nesta pesquisa, na expectativa de que a discussão sobre eles possa lhe deixar atento à compreensão prévia que os alunos podem trazer sobre o fenômeno, o que pode lhe sugerir ênfases a dar no ensino sobre o mesmo, além de lhe estimular e embasar para fazer o seu próprio levantamento das ideias de seus alunos.

Por fim, iremos levantar algumas sugestões de bibliografias que poderão servir de apoio para seu aprofundamento sobre as marés, bem como de recursos didáticos e ideias de que você poderá fazer uso em seu envolvimento com o ensino do tema. Indicaremos alguns livros e artigos, utilizados, inclusive, para a preparação deste material, link com simulador on-line de marés, vídeos e propostas de atividades práticas, algumas delas para serem desenvolvidas, se possível, numa bela praia.

Esperamos que nosso texto venha a lhe incentivar a discutir junto aos seus alunos o fenômeno das marés e a relação dele com a Astronomia e a Física, mas também a relação que há com outras ciências. Por isso, talvez você possa indicar esse material para seus colegas professores de outras áreas, a fim de reverberar a importância do estudo das marés para os estudantes da Educação Básica em perspectivas interdisciplinares diversas.

Sumário

1 A importância das marés no ensino de Física e Astronomia 4

2 A física das marés 8

2.1 Explicações sobre marés na História da Ciência.....8

2.2 A Teoria do Equilíbrio.....16

3 O que os alunos pensam sobre marés 25

4 Sugestões para o ensino de marés 34

Referências 41

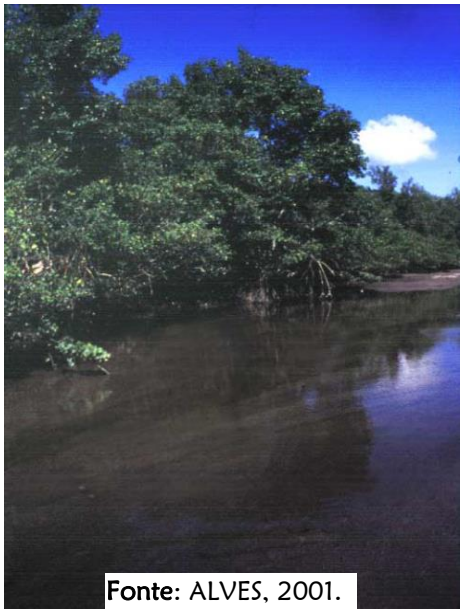
1 A importância das marés para o ensino de Física e Astronomia

Pensando nas marés, o que pode vir à sua cabeça como primeira lembrança ou associação? Quando criança, você pode já ter construído um castelinho de areia distante das ondas, mas após algum tempo, ter percebido que elas começavam a chegar cada vez mais perto? Ou talvez você já tenha ido à praia e quando lá chegou, percebeu que não podia ficar na areia, pois a maré estava cheia e, inclusive, não havia nenhuma barraca montada. Comumente o avanço das marés pode cessar a prática de algum esporte na praia. Mesmo que você nunca tenha ido à praia, talvez já tenha presenciado cenas em fotos ou vídeos e possa ter imaginado como seria estar ali.

O fenômeno das marés, essa oscilação diária do nível da água do mar, pode chamar a atenção por diversas interferências que pode causar na ida das pessoas à praia. Mas além de afetar um simples futebol de areia num domingo, destruir o castelinho de areia da criança, ou interromper a venda de ambulantes na praia, as marés estão relacionadas também com outras situações que nos afetam, e a outros seres vivos.

Imaginemos por exemplo, os estuários, locais onde os rios desembocam no mar. Estes são diretamente afetados pelas marés. Elas renovam ciclicamente essa região trazendo para a terra, na maré alta, e levando para o mar, no abaixamento da maré, materiais orgânicos e sedimentos que são essenciais aos animais marinhos (VALENTIM, MUELBERT, 2015). E se estivermos numa região intertropical, como a maior parte do Brasil, podemos encontrar um fantástico ecossistema aos arredores dos estuários, o manguezal (Figura 1).

Figura 1: Visão de uma área de mangue.



Fonte: ALVES, 2001.

Os seres vivos desse ecossistema também estão adaptados às variações das marés, as quais atuam, ainda, na disseminação das sementes flutuantes das árvores dessas regiões (ALVES, 2001). É nas regiões de mangues, por exemplo, onde várias espécies marinhas se reproduzem, devido à facilidade de proteção contra predadores e à abundância de matéria orgânica; por isso mesmo, os mangues constituem um excelente berçário da vida marinha.

Ainda analisando a importância das marés no meio marinho, que são várias, podemos comentar sobre os recifes de corais. Recifes coralíneos abrigam diversos tipos de seres vivos. Os corais são como as florestas do mar. Todos os seres que vivem ali dependem da variação cíclica de água provocada pelas marés, para poderem se alimentar (ZILBERG *et al*, 2016). Numa subida

de maré, uma região que antes estava seca pode ser reabastecida com água e nutrientes e com isso os animais daquele local ou de áreas próximas passam a dispor de alimentos.

Agora voltemos a pensar sobre as atividades que nós, como humanos, desenvolvemos, e que estão relacionadas ao ritmo das marés. Você pode concordar que o mar é fonte de renda para várias pessoas ao redor do mundo, e a pesca, de peixes e crustáceos, é uma dessas formas de "se viver" do mar, correto? Essas pessoas precisam ter um conhecimento muito específico da região em que desenvolvem suas atividades para não serem surpreendidas pela mudança da maré. Uma maré cheia pode propiciar um maior volume de peixes e a possibilidade de um barco zarpar sem tantos problemas, de um local da praia ou de um porto. O mesmo pode-se dizer para o retorno dessas embarcações. Caso o pescador retorne do mar numa maré baixa, poderá ter sua embarcação encalhada na areia, trazendo um enorme transtorno e prejuízo.

Já as pessoas que pescam "mariscos", nomenclatura generalizada para vários frutos do mar, têm seu trabalho mais facilitado em épocas de marés mais baixas (Francis, et al, 1999), quando eles ficam mais visíveis nos recifes em que se encontram.

As grandes cidades litorâneas possuem portos para o comércio marítimo há centenas de anos, não é mesmo? As embarcações com pessoas, ou mercadorias, precisam se comunicar com os controladores dos portos para saberem das condições de marés nos momentos de chegada ou de partida. Pelos mesmos cuidados observados pelos pescadores, mencionados anteriormente. É por isso que cada porto deve ter uma tábua de marés, que informe com precisão as marés daquele dia, naquele local. A Marinha Brasileira, a partir de marégrafos, máquinas que medem as variações das marés, detalha e prevê as alturas mais baixas e mais altas da água do mar e seus respectivos horários, organizando esses dados, em seu site[1], em tabelas (tábuas) com informações para todos os dias do ano, para os principais portos brasileiros. São essas tábuas que auxiliam as pessoas a se informarem e se programarem para suas idas à praia, de acordo com seus interesses e motivações.

Para as pessoas mais desavisadas, as marés inclusive podem "levar" alguns pertences, caso a pessoa acabe cochilando na areia e acorde pelo avanço das águas. Não é incomum na praia de Atalaia, em Salinópolis (Figura 2), no litoral do Pará, que carros acabem alcançados pela maré, causando prejuízos aos proprietários desatentos. Concordemos que lugar de carro não é na praia, não é mesmo?!

---

[1] As alturas das marés do ano de 2020 podem ser checados através do site da Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/tabuas-das-mares>. Acesso em: 30 dez. 2020.

Figura 2: Praia de Atalaia, Salinas/PA.

Fonte: Maré leva carros de luxo após moradores furarem quarentena no Pará. Disponível em: < https://www.bol.uol.com.br/noticias/2020/07/27/mare-leva-carros-de-luxo-apos-moradores-furarem-quarentena-em-belem.htm > Acesso em: 30 dez. 2020.

Também, não raro, temos notícias de construções que acabam sendo destruídas por uma maré alta combinada a fatores climáticos, como ocorre nas ressacas do mar que produzem ondulações mais intensas que o normal. Esta combinação pode destruir calçadões e prédios, daí a importância de se conhecer bem a costa litorânea próxima à qual se deseje construir algo.

É interessante perceber que cada local possui um regime de marés muito específico. Em alguns lugares, o nível mais baixo das águas do mar pode revelar um ambiente completamente diferente, possibilitando a exploração de regiões que ficam inacessíveis durante a maré cheia. A variação diária entre o nível mais baixo e o nível mais alto da água do mar num dado local pode ser de alguns centímetros, sendo quase imperceptível nesses casos, até 16 metros como acontece na Baía de Fundy no Canadá, uma das maiores marés do mundo (Figura 3).

Figura 3: Região da Baía de Fundy na maré baixa (à esquerda) e na maré alta (direita).

Fonte: Descobrindo New Brunswick-Bay of Fundy/Baía de Fundy. Disponível em: <https://www.deboanomundo.com/post/blogujte-ze-sv%C3%A9ho-zve%C5%99ejn%C4%9Bn%C3%A9ho-webu-a-z-mobilu>. Acesso em: 30 dez. 2020.

Outros vários fenômenos e questões socioambientais estão relacionados às marés. Acredito que alguns colegas podem ter pensado, por exemplo, na famosa Pororoca, que é uma onda que, em certos períodos do ano, de acordo com as marés, viaja ao longo de rios da região

Norte do Brasil. Talvez você esteja se lembrando que existe produção de energia elétrica através do aproveitamento das marés, da chamada energia das marés ou energia maremotriz. Ou então, num exemplo mais cruel, de celas de antigos fortes que se enchiam com a água do mar na maré cheia, e ainda assim eram usadas para prisioneiros, como no Forte dos Reis Magos em Natal/RN.

A lista de fatores relacionados às marés é bem vasta e a exploração desse fenômeno tem um elevado potencial interdisciplinar que você poderá considerar importante abordar em suas futuras aulas de Física, e que poderão conversar com a Astronomia, em particular, e ainda com a Biologia, a Geografia e a Matemática, entre outras possibilidades de articulações entre disciplinas e áreas, inclusive com aquelas áreas que envolvam mais diretamente a sensibilização e expressão estética sobre os fenômenos, como artes e literatura, por exemplo.

2 A física das marés

Para explorar com seus alunos a explicação sobre o que origina as marés, é interessante conhecer um pouco sobre algumas das teorias desenvolvidas na história da ciência, de que temos conhecimento, acerca do fenômeno. Algumas das ideias que discutiremos aqui, podem inclusive apresentar semelhanças com as ideias que os seus estudantes podem ter sobre as marés, de modo que conhecer os questionamentos abordados ao longo da história da ciência pode contribuir para você problematizar aspectos das marés e das ideias que os alunos trazem sobre elas.

As teorias e ideias que apresentamos a seguir usam como base principalmente os textos de história da ciência de Marmer (1922, 1928), Ekman (1993), Mariconda (1999), Case (2000) e McCully (2006), sendo um extrato de outras teorias levantadas por esses autores. Procuramos, em nossa seleção, registrar o que consideramos alguns dos principais passos na construção da compreensão atual das marés, contemplando, inclusive, algumas das principais controvérsias envolvidas nesse processo.

2.1 Explicações sobre marés na História da Ciência

Um dos primeiros registros históricos que tinha como objetivo compartilhar observações sobre como as marés acontecem vem do grego Phyteas de Massália (aproximadamente 350-285 a.C.), o qual, de acordo com Marmer (1922) e Ekman (1993), por volta do ano 330 a.C., numa viagem às Ilhas Britânicas percebeu que o nível da altura do mar varia consideravelmente com o passar das horas, o que ele não percebera antes, no Mar Mediterrâneo, onde as marés eram praticamente imperceptíveis.

Em local distante das Ilhas Britânicas, numa época próxima e ainda anterior à de Phyteas, biógrafos de Alexandre, O Grande (356-323 a.C.), relatam que o imperador da Macedônia e seu exército, em 325 a.C., foram surpreendidos por um aumento muito significativo do nível do mar em poucas horas. Isso teria ocorrido numa região próxima ao hoje chamado Rio Indu, no Paquistão, como relatam Mariconda (1999) e McCully (2006). Até então, Alexandre e sua tropa desconheciam tal fenômeno, pois também residiam em locais onde as marés eram imperceptíveis; historiadores destacam que inclusive o tutor de Alexandre, o famoso Aristóteles (385-323 a.C.), também nunca havia sequer comentado isso com ele.

Phyteas, em sua viagem, constatou que as marés daquele lugar onde chegara subiam e desciam duas vezes ao dia e que elas eram mais perceptíveis em épocas de lua cheia e lua nova. Então, segundo ele, as marés estavam, de alguma maneira relacionadas à Lua.

Desde a antiguidade, então, as observações relatam que na maioria dos lugares há duas marés altas e duas baixas durante um dia, com um atraso perceptível, de um dia para outro, no horário em que ocorriam. E ainda, notou-se que as marés tinham amplitudes (diferença entre o

nível da água na maré alta e o nível médio do mar para determinado local) distintas ao longo de um mês, sendo maiores durante as fases cheia e nova da Lua, constituindo o que conhecemos como marés de Sizígia ou marés vivas. Da mesma forma, notou-se que as menores amplitudes acontecem nos períodos lunares de quarto crescente e quarto minguante, e as marés desse período são conhecidas como marés de Quadratura ou marés mortas.

A maioria das observações e estudos que se desenvolveram ao longo da história relacionava as marés à mudança de posição da Lua no céu, e posteriormente, também do Sol, quando associaram as diferentes fases da Lua a marés de intensidades variáveis. Entretanto, a maneira que esses astros causavam isso foi um problema por muitos séculos.

Houve outras teorias e propostas de causas para as marés que não as relacionavam diretamente à Lua. Por exemplo, alguns estudiosos ditos "animistas", comparavam a Terra a um organismo e a variação de altura das águas do oceano à respiração do planeta. Outros, ainda, viam as marés como as pulsações do "sangue" da Terra, o qual era representado pelas águas.

Outra teoria interessante surgiu ao norte da Europa, mais precisamente na costa norte de onde hoje chamamos de Noruega, por volta de 1100 d.C.. Relatava-se a existência de um grande turbilhão de águas ali, em forma de vórtices (redemoinhos). Tal fenômeno, chamado pelos nativos de Maelstrom, era considerado a causa das marés. Quando a maré estava baixa, isso significaria que parte da água do mar teria entrado neste redemoinho, e quando a maré estava alta, a água teria saído do vórtice.

Havia ainda teorias que estabeleciam relação entre os astros Lua e Sol e as marés, e que propunham hipóteses sobre a maneira como estes agiam sobre as águas do mar. O árabe Zakariya al Qaqwini (1203-1283), por exemplo, acreditava que de acordo com as variações de temperatura, as águas se dilatavam (marés altas) e se comprimiam (maré baixa), devido ao calor proveniente dos astros.

Como Mariconda (1999) ressalta, o interesse em entender como as marés acontecem ficou muito forte no período das grandes navegações, a partir do século XVI. Uma das teorias que surgem nesse período, e que não relaciona as marés à Lua, apresenta soluções e pontos de vista bastante diferentes, porém complementares, aos da teoria atualmente aceita para as causas das marés, mas que ilustram bem o esforço para a compreensão desse instigante fenômeno.

Galileu Galilei (1564-1642), na época já muito prestigiado, não aceitava que a Lua agisse sobre a Terra, assim causando as marés, mesmo que as observações e relatos de vários estudiosos desse fenômeno, até então, apontassem para essa relação das marés com a Lua. A exemplo do que podemos constatar hoje em conversas com pescadores, e do que registrou Pytheas em sua viagem, podemos dizer que aqueles que vivenciavam o mar de forma mais próxima atestavam o sincronismo entre o comportamento das marés e a posição da Lua no céu, e ainda, suas fases.

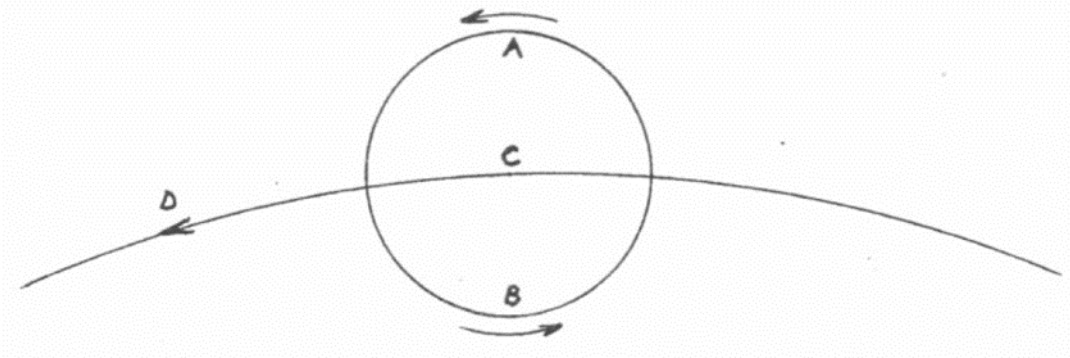
No entanto, Galileu, que tinha uma visão de mundo mais mecanicista considerava que essa possível relação entre a Lua e as águas dos nossos oceanos era mística, fantasiosa. Segundo Ekman (1993), Galileu ficou surpreso ao ter conhecimento que Johannes Kepler (1571-1630) acreditava que a Lua agisse de uma forma "oculta" sobre a Terra. Kepler, no entanto, inspirado no então recente trabalho sobre o campo magnético terrestre, de William Gilbert (1544-1603), acreditava nessa possibilidade de ação da Lua, e que talvez as marés fossem provocadas por algum tipo de magnetismo lunar.

Mas... você pode estar pensando: como então Galileu explicava as marés sem as relacionar com a Lua? E mais, por que ele ia contra o que a maioria das explicações, até então, tentavam contemplar em relação às observações conhecidas? Aparentemente, porque tais ideias eram contrárias ao seu pensamento mecanicista.

Pois bem, para Galileu, as marés eram resultantes dos movimentos de rotação e translação que a Terra executa. Conforme Mariconda (1999), ele propõe que a ocorrência das marés constituía uma prova da existência dos movimentos da Terra. Numa analogia interessante, ele relaciona as águas do oceano sobre o relevo do nosso planeta com as águas dentro de um vaso que se encontre num navio em movimento, acelerado. A Terra, então, é comparada a esse navio: assim como o vai e vem do navio faz a água do vaso ficar oscilando, os movimentos de rotação e translação do nosso planeta, combinados, provocariam elevações e abaixamentos das águas do mar, nas praias.

De acordo com o pensamento de Galileu, uma parte do nosso planeta, durante a rotação, tem o mesmo sentido que a translação do planeta em torno do Sol, já a outra parte, no lado oposto, tem sentido contrário, como ilustrado na Figura 4. Assim, as regiões do planeta no lado que se move no mesmo sentido da translação, aceleram-se, e as situadas do lado oposto, com movimento em sentido contrário ao da translação, se retardam, gerando assim, marés altas e marés baixas.

Figura 4: Ilustração representando a ideia de movimento da Terra para a geração das marés, segundo a teoria de Galileu.



Fonte: Mariconda, 1999.

Porém, como ele explicava o período diário das marés? Conforme observado na maioria dos lugares, duas marés altas (ou duas baixas) ocorrem a cada 12h e 25min, aproximadamente. Mas... imaginemos, por exemplo, um lado da Terra que esteja rotacionando no mesmo sentido da translação, num dado momento. Após 12h ele estará rotacionando em sentido oposto; e somente após 24h estará novamente se movendo no mesmo sentido, de modo que, ao considerarmos a combinação entre rotação e translação como causa das marés, duas marés de mesmo tipo só deveriam ocorrer aproximadamente no intervalo de 24h. Ou ainda, entre uma maré alta e uma baixa, previa-se o intervalo de 12h, ao invés de 6h, como observado.

Para entender como Galileu tentava escapar desse problema, é importante ter em mente que ele defendia que havia duas causas conjuntas para as marés. A primária, ligada à combinação dos movimentos de rotação e translação da Terra, que juntos eram responsáveis por produzir acelerações e retardamentos em partes da Terra, de acordo com o apontado anteriormente. A causa secundária estaria associada à "gravidade" das águas, que procuraria conduzi-las ao equilíbrio. Atreladas à causa secundária, haveria ainda as causas concomitantes que, nas palavras de Mariconda (1999), se constituem de:

> [...] uma série de condições particulares, ditas causas concomitantes, que correspondem basicamente às condições locais em que se realiza a propagação da 'onda' produzida pela causa primária: profundidade do recipiente, tamanho e orientação do recipiente, tipo de costa, etc (MARICONDA, 1999, p. 49).

Assim, considerando-se apenas a causa primária, seu modelo previa erroneamente, um período de 12 h entre uma maré alta e uma maré baixa, Galileu atribuía então às causas concomitantes a redução de período para aproximadamente 6 horas. Essa solução não era muito apreciada e esse era um dos problemas de seu modelo. Mas o papel das causas concomitantes para as marés será retomado posteriormente.

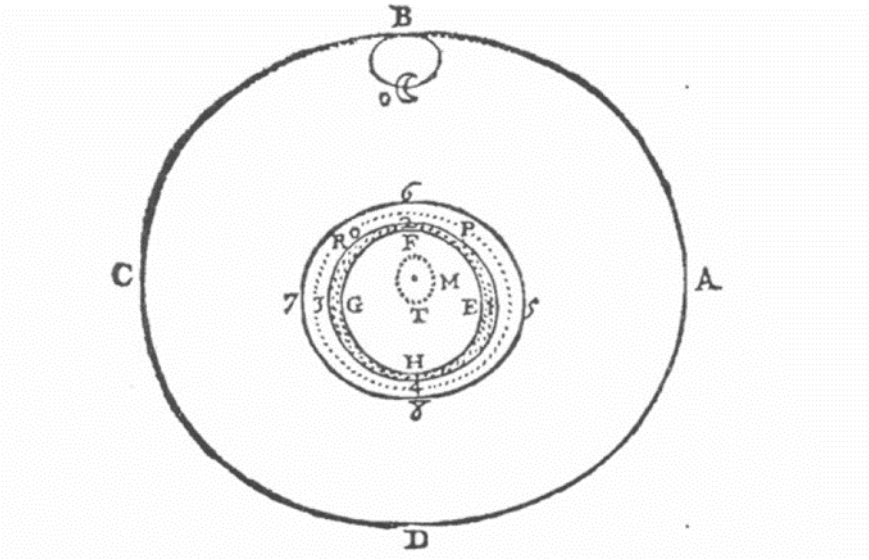
É importante ressaltar, ainda, que o modelo de Galileu enfrentava dificuldades para explicar o período mensal - a variação de amplitude das marés com as fases da Lua - e o período anual das marés. Para explicar variações das marés com períodos de um mês e do ano ele propunha soluções com base em combinações entre a rotação e a translação da Terra, levando-se em conta as posições da Terra e da Lua, conjuntamente, em relação ao Sol, ou, respectivamente, da inclinação da Terra em relação ao Sol; porém, as previsões de seu modelo esbarravam em contradições com os dados empíricos (MARICONDA, 1999).

Um aspecto valorizado por Mariconda (1999) é que a teoria galileana para as marés, apesar de não estar de acordo com várias observações ao redor do mundo, se preocupa em descrever as marés como um fenômeno dinâmico das águas. O foco nas causas concomitantes também estabelecia vários elementos locais como causas secundárias para as marés, o que

veremos se tornar muito importante nas teorias mais recentes, as quais procuram esclarecer diferenças marcantes de características das marés nas diversas partes do planeta.

René Descartes (1596-1650) apresentou uma teoria que atribui à Lua a principal causa das marés, assumindo, porém, uma perspectiva totalmente mecanicista. Como Galileu, rejeitava a ideia de qualquer "poder oculto" da Lua para explicar a sua relação entre esta e as marés na Terra. Descartes propunha que entre os astros não havia um vazio e sim uma matéria de natureza fluida, sutil, que os liga, mecanicamente. Segundo sua teoria, não é exatamente a Terra nem a Lua que se movimentam, mas a "matéria sutil" presente entre esses astros (e entre os demais) que, movendo-se em vórtices, os carregava. O vórtice ao redor da Terra, delimitando o céu desta, continha também a Lua. Devido ao movimento da Lua ao redor da Terra, a matéria que preenchia o céu da Terra produziria variações de pressões sobre as águas do planeta, ocasionando as marés: as águas nos locais (opostos) da Terra que se encontravam na direção do astro eram comprimidas, resultando em marés baixas, ali; em consequência, em pontos da Terra na direção perpendicular à da Lua resultaria um maior volume de água, ocorrendo marés altas. Esse modelo pode ser melhor entendido com a Figura 5, desenvolvida por Descartes e reproduzida por Mariconda (1999).

Figura 5: Ilustração representando o modelo de Descartes para a origem das marés.



Fonte: Mariconda, 1999.

O ponto F, terá uma maré baixa devido à Lua provocar um achatamento das águas na direção perpendicular, gerando as protuberâncias nos pontos E e G, que terão marés altas. A maré baixa em H ocorria porque as águas, comprimidas pela passagem meridiana da Lua, também comprimiam a Terra no sentido de H. A Terra deslocava-se um pouco do centro e,

tendo em vista que o espaço ao redor da dela estava todo preenchido pela substância sutil, esse deslocamento comprimia também as águas de H, que se espalhavam na direção perpendicular à direção da Lua. Considerando a rotação da Terra, esse modelo de Descartes obtinha, em coerência com as observações, fluxo (maré alta) e refluxo (maré baixa) acontecendo duas vezes ao dia, em um mesmo lugar. Além disso, pelo movimento da Lua ao redor da Terra, conseguiu explicar o atraso diário de aproximadamente 50 minutos que uma maré alta, por exemplo, tem em relação ao dia anterior.

Para explicar as variações de marés ao longo de um mês, Descartes partia da ideia de que o céu da Terra tem uma forma oval, e ao longo do mês quando a Lua estivesse mais próxima do centro do vórtice da Terra, ela se moveria com maior velocidade, ocasionando marés mais intensas.

Esta teoria, apesar de ter sido dominante durante a segunda metade do século XVII, era contrária a algumas observações empíricas pois, pelo mecanismo que usava para explicar as marés, a passagem da Lua no meridiano de um lugar deveria produzir um momento de maré baixa, e, quando estivesse no horizonte do lugar, uma maré alta.

É importante ressaltar que, assim como Galileu, ele deu importância às condições locais dos lugares, como profundidade, presença de ilhas, desaguamento de rios, entre outros pontos, que estariam relacionado ao curso da maré.

Um curto período após as teorias de Galileu e Descartes, Isaac Newton (1642-1727) propõe, também, uma teoria de marés. Introduzindo o conceito de força gravitacional ao estudo das marés, oferece um "mecanismo" que esclarece a maneira, antes oculta, com que a Lua e o Sol produzem as marés na Terra, e demonstra qualitativamente a viabilidade dessa hipótese: supondo o planeta sem relevo, e todo rodeado de um único oceano, as diferentes intensidades da força gravitacional da Lua (ou igualmente, do Sol) sobre os diversos pontos da superfície da Terra levariam as águas do oceano a se distribuírem na forma de um esferoide, formando acúmulos ou bojos de água nos locais opostos da superfície da Terra que se situavam na mesma direção do astro que produzia as marés.

A Teoria do Equilíbrio, desenvolvida com base nos princípios apresentados por Newton será objeto de uma maior discussão, nossa, na seção 2.2, mas cabe antecipar que ela explica vários fatores observacionais, como o período diário das marés, e as diferentes amplitudes do fenômeno durante o mês e ao longo de um ano, num mesmo lugar. Além disso, sua aplicação permite calcular que a Lua é o principal astro causador das marés, contribuindo para produzir marés 2,2 vezes[2], mais intensas que as produzidas pelo Sol.

---

[2] Segundo Ekman (1993), os cálculos de Newton para essa razão resultavam em 4,5 vezes. Daniel Bernoulli (1700-1782) aprimorou para 2,5, e hoje, sabemos que esse valor é de 2,2.

No entanto, sua teoria, que abordava o problema como estático - ou seja, buscava a condição de equilíbrio para as águas dos oceanos na presença de outro astro - e que, como mencionado, modelava a Terra como um planeta de superfície completamente lisa e preenchida apenas de água, sem continentes, apresentava algumas limitações.

Particularmente, a teoria newtoniana não conseguia fazer uma predição efetiva dos valores de marés para as diversas localidades, as quais apresentavam características bem diferentes entre si. Além disso, as marés altas previstas por Newton teriam um valor máximo de apenas 1 metro na região da linha do Equador, decrescendo em direção aos polos, o que não é refletido nas observações. Mesmo diante de limitações para dar conta dessa diversidade de características das marés, no globo, esta teoria até hoje contribui para o entendimento das marés como um fenômeno de origem astronômica, associado a efeitos gravitacionais da Lua e do Sol sobre a Terra.

Nos séculos seguintes à teoria de Newton, o tratamento para esse fenômeno, segundo Marmer (1922), passou por uma substituição na concepção "do problema" das marés, passando-se lentamente a perceber que havia não um, mas vários problemas. Isto é, as marés de cada região possuem sua peculiaridade, e as explicações de suas características demandam identificar fatores específicos, apesar de todas estarem sujeitas, na sua origem, à gravitação proveniente da Lua e do Sol agindo diferenciadamente sobre a extensão do planeta.

Era necessário haver uma mudança no paradigma de resolução desses problemas, em busca de responder perguntas que ainda eram pertinentes. Um novo tratamento se deu quando as marés passaram a ser estudadas como o resultado de movimentos de um fluido (as águas do mar) sobre o globo, sob ação dos potenciais gravitacionais dos astros Lua e Sol.

A quebra desse paradigma ocorreu com a abordagem proposta por Pierre-Simon Laplace (1749-1827), no fim do século XVIII. Ele deduziu uma equação de onda para as marés, o que Ekman (1993) chama de "fórmula de Laplace para marés" e depois ficou conhecida como Teoria Dinâmica.

Nessa fórmula, propôs um conjunto de equações para o movimento de um fluido em 3 dimensões sobre um globo esférico (a Terra), fazendo uso: da equação de continuidade (conservação da massa para líquidos incompressíveis), da equação de movimento, de Newton aplicada ao fluido sobre a esfera, e da expressão da força da gravidade de Newton para indicar a ação do astro sobre o fluido, na equação de movimento. Porém, essa proposta para descrever e estudar as marés esbarrou nas dificuldades de cálculos para desenvolver predições, pelo fato de sua aplicação envolver muitas variáveis.

Apesar das dificuldades pertinentes a esse modelo, podemos dizer que a proposta de descrição e análise que Laplace apresentou, serviu de inspiração e fundamentação para os futuros estudos desse fenômeno.

Com o aumento de informações e dados observacionais em diversos portos por todo o mundo, cada vez mais estudos foram realizados para impulsionar os avanços nessa área. A partir desses dados, o inglês William Whewell (1794-1866), apresentou "um mapa do mundo no qual eram traçadas as chamadas linhas cotidais, isto é, linhas que uniam pontos nos quais a maré alta ocorriam ao mesmo tempo" (MARMER, 1922, p. 215). Ao construir essas linhas, unindo os pontos para os quais se tinha medidas das marés, Whewell interpretou e passou a defender que as linhas sugeriam que as marés altas pareciam progredir como uma onda, pelo globo, daí a nomenclatura Teoria da Onda Progressiva para sua proposição. Segundo o próprio Whewell, poderia ser que ele estivesse errado em traçar as linhas para todo o mundo, porém para aquela época poderia ser a forma mais simples para entender as marés (MARMER, 1922).

Apesar de haver muitos fatores plausíveis e diversos entusiastas ao redor do mundo para a Teoria da Onda Progressiva, ela apresentava algumas falhas quando submetida a longos períodos de análises em relação aos dados observáveis nos portos. Além disso, alguns pesquisadores acreditavam que, em determinados locais, as marés tinham sua particularidade, não obedecendo a progressão da onda proposta por Whewell.

Paralelo às novas teorias que se sucederam, a criação do marégrafo (Figura 6), uma máquina que mede a altura das marés com o passar do tempo, em 1872, por Lord Kelvin (1824-1907), foi um salto importantíssimo para os estudos e compreensão do fenômeno. O marégrafo tornou as medições mais assertivas, por ter uma certa automação, dispensando, assim, uma observação constante dos pesquisadores.

Figura 6: Desenho representativo de marégrafo criado por Lord Kelvin em 1872.

Fonte: McCully, 2006.

A teoria mais recente que temos hoje veio a partir da Teoria de Onda Estacionária, primeiramente idealizada pelo americano R. A. Harris (1863-1918), que abordava as marés de

diversos locais não como resultado de uma mesma onda global que teria "progredido" até chegar ali, mas como resultado de ondas estacionárias que surgem especificamente em cada região, e possuem características específicas.

De acordo com Marmer (1922, p. 217), "a teoria das Ondas Estacionárias afirma que as marés dominantes do mundo são agitadas por ondas estacionárias que são criadas e mantidas em várias partes dos oceanos pelas forças periódicas das marés do Sol e da Lua".

Então, apesar da Lua e do Sol serem fundamentais para gerar e manter a vibração das oscilações e elas não se dissiparem, são as condições do lugar que são as principais determinantes das características das marés neste local. Essas condições podem ser várias, como a profundidade média, o formato da costa, a composição física, até mesmo as condições climáticas, entre outras.

Para finalizar nosso breve histórico, é importante citar o trabalho desenvolvido pelo oceanógrafo britânico Arthur Doodson (1890-1968), que no início do século XX desenvolveu a Teoria Harmônica de marés e, com tecnologias para predição de marés bem mais avançadas, de acordo com Ekman (1993) e McCully (2006), quantificou 386 componentes variáveis que seriam determinantes para a análise das marés numa determinada região! As diferenças de forças atrativas da Lua e do Sol, seriam apenas duas dessas.

Agora se refletirmos bem, podemos perceber que Galileu fez uso de fatores muito importantes, quando abordou a importância de "fatores concomitantes" e que alguns, inclusive, se relacionam a termos citados pelos nossos estudantes, como veremos adiante.

Mas antes de abordarmos um estudo sobre como pensam nossos alunos, vamos revisitar a Teoria do Equilíbrio, que foi um marco na História da Ciência para a explicação das marés, e que explica, de uma maneira simples, as marés como um fenômeno que tem sua origem numa interação de natureza gravitacional entre as diferentes partes da Terra e a Lua (além do Sol).

2.2 A Teoria do Equilíbrio

Newton, com seu livro Principia, publicado em 1687, apresentou a teoria da Gravitação Universal, que entre outras coisas possibilitou explicar o movimento dos planetas ao redor do Sol, assim como da Lua, ao redor da Terra. Sua teoria propiciou ainda uma visão unificada para os fenômenos que envolviam os movimentos terrestres e os astronômicos.

As marés foram outro fenômeno ao qual Newton aplicou sua teoria e conseguiu explicar aspectos significativos delas.

Os colegas já são familiarizados com a teoria, porém, lembremos, através das palavras de Oliveira e Saraiva (2014, p. 89) para a força gravitacional, a ideia de Gravitação Universal: "Newton, então, concluiu, que para que a atração universal esteja correta, deve existir uma

força atrativa entre pares de objetos em qualquer região do universo, e essa força deve ser proporcional a suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de suas distâncias".

A Equação 1, escalar, expressa essa ideia, onde F representa a intensidade da força atrativa entre as massas m_1 e m_2 de um par de corpos, a distância entre esses corpos está representada por r, e G, é a constante gravitacional:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \tag{1}$$

Como sabemos, cada corpo age atraindo o outro em sua direção com uma força que tem essa intensidade. Vejamos como a teoria da Gravitação Universal pode ser aplicada para explicar a origem das marés, conforme a Teoria do Equilíbrio apresentada numa linguagem atual.

Newton, diferente de Galileu, fez uma abordagem estática em seu modelo sobre as marés; isto é, desconsiderou o efeito de rotação da Terra nos movimentos das águas do oceano, assim como a existência de atrito entre as águas e o fundo do mar. Também considerou, numa primeira análise, o planeta todo coberto apenas por água, de maneira uniforme, sem a presença de elevações continentais.

A ideia de explicar as marés a partir de um efeito gravitacional da Lua sobre a Terra faz uso do fato de que, conforme a expressão para a força gravitacional, as intensidades das forças que um astro, como a Lua, exerce em elementos de mesma massa que se encontrem em pontos distintos da Terra, irão diferir entre si.

Sobre um elemento de massa de água da Terra que esteja na posição mais próxima da Lua, esta exerce uma força gravitacional mais intensa do que a que exerce sobre um elemento de massa de água na Terra que se encontre numa posição mais distante - na posição oposta, por exemplo, certo? Veja a Figura 7 (que assim como as próximas figuras, não apresenta os astros em escala de tamanho nem de distância), a seguir, ilustrando isso que acabamos de ressaltar. Nela, o círculo cinza representa a Lua, e o azul, o nosso planeta coberto apenas por água.

Figura 7: Representação das forças gravitacionais exercidas pela Lua, indicadas por flechas vermelhas, em posições diametralmente opostas da Terra, na direção da Lua.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

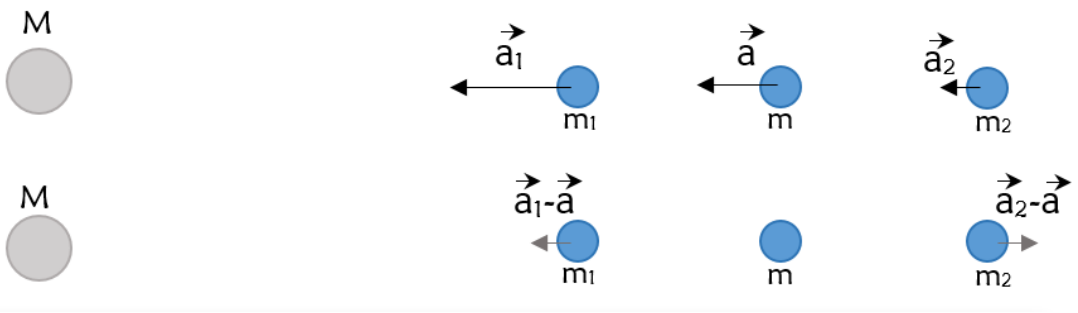
As flechas diferentes representam forças de diferentes intensidades (tamanhos): a força gravitacional num elemento de massa em A, mais próximo da Lua, é maior do que a força num elemento de mesma massa em B, que estão separadas pelo diâmetro terrestre.

Para entendermos a origem das marés de forma mais clara, devemos analisar como as águas nesse modelo de Terra se comportam, com as diferentes forças que a Lua exerce sobre elas nos diversos pontos da superfície da Terra. Vamos fazer isso por etapas.

Primeiro, vamos utilizar uma figura adaptada de Oliveira e Saraiva (2014) ilustrando três elementos de mesmas massas, alinhados, a diferentes distâncias da Lua. Num momento inicial, analisaremos as acelerações em cada massa, sob a ação gravitacional da Lua (ou de um astro de massa M, qualquer).

A parte superior da Figura 8, a seguir, apresenta essa situação. Nela, temos: uma massa m, que podemos imaginar situada numa posição equivalente ao centro da Terra, e sofre uma aceleração de intensidade "a" exercida pelo astro M (a Lua, por exemplo); as massas m_1 e m_2, em posições opostas (podemos imaginá-las como massas em posições equivalentes às diametralmente opostas na superfície de nosso planeta, na direção de M); as intensidades das acelerações a, a_1 e a_2 experimentadas respectivamente pelas massas m, m_1 e m_2, devido às forças gravitacionais que o astro M exerce sobre elas em um referencial inercial (note que, se $m=m_1=m_2$ podemos inferir que $a_1>a>a_2$). Não indicaremos, em nossa figura, as forças que cada pequena massa também exerce sobre M; focalizaremos somente o que ocorre com as massas menores, devido à ação de M.

Figura 8: Representação das acelerações sobre as massas m, m_1 e m_2 devido às forças de atração gravitacional.



Fonte: Adaptada de Oliveira e Saraiva, 2014.

A representação inferior da Figura 8 corresponde a uma descrição das acelerações das massas m, m_1 e m_2, adotando-se um referencial em que a massa m, situada no centro, encontra-se em repouso (a aceleração do corpo M continua ignorada, na análise que fazemos sobre as massas menores). Nesse referencial da partícula m, pode ser mais fácil de visualizar a tendência

de afastamento das massas m_1 e m_2 entre si, tendência esta que se manifestará para qualquer observador.

Como uma próxima etapa, se analisarmos as acelerações experimentadas por elementos de mesma massa em posições equivalentes aos diferentes pontos da superfície da Terra, sob ação do astro M (a Lua, por exemplo) no sistema de referência de m, teremos uma configuração de acelerações como a ilustrada da Figura 9. Percebemos a tendência ao acúmulo de água ao longo da região da superfície da Terra situada na mesma direção do astro, como se as águas fossem "espremidas" na direção do astro gerador de marés, tanto do lado da Terra mais próximo ao astro, como do lado mais distante.

Figura 9: Representação das águas se acumulando na direção da lua, gerando o efeito de marés. As setas pretas indicam a aceleração dessas águas no referencial de um elemento de massa no centro da Terra.

Fonte: Adaptada de Maré. In: Wikipedia. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mar%C3%A9>. Acesso em: 30 dez. 2020.

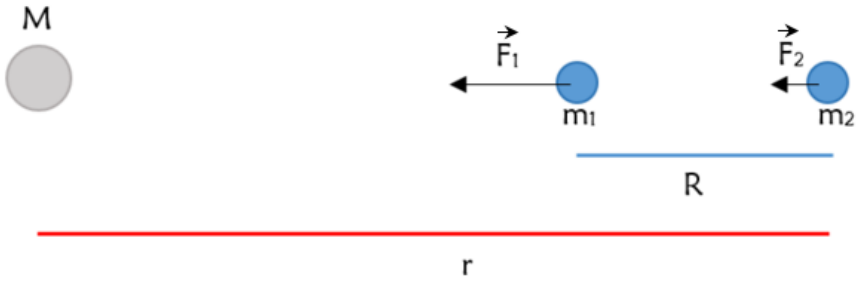
É comum, na literatura, encontrarmos o termo "bojos de marés" para essas protuberâncias de água que tendem a se formar na presença da Lua, quando partimos dessa análise que faz uso do modelo newtoniano para a Terra como um planeta liso e rodeado de águas, e da teoria da Gravitação Universal de Newton.

Essa configuração permite à teoria do Equilíbrio explicar vários aspectos observados sobre as marés. Os pontos da superfície da Terra sob os bojos seriam, no caso, as regiões da Terra que experimentariam as marés altas naquele instante, enquanto nas posições perpendiculares a eles, teríamos pontos com marés baixas.

Como a rotação da Terra tem 24 horas, à medida que a Terra gira, um ponto da superfície dela, nesse modelo, experimenta as águas sobre ele subirem e descerem duas vezes por dia, resultando num intervalo de cerca de 12h entre duas marés altas (ou entre duas baixas). Porém, como a Lua também se move continuamente em torno da Terra num período de aproximadamente 27,3 dias (tomando-se a esfera celeste como referência), e a direção dos bojos segue acompanhando a direção da Lua, o modelo permite esclarecer também o atraso diário de 50 minutos, para os horários das marés alta ou baixa.

Retomaremos agora uma das formas com que a teoria de Newton permite calcular a expressão das forças de marés de um astro sobre outro, e que consideramos viável ser desenvolvida com os alunos do Ensino Médio. Para desenvolvermos os cálculos, faremos uso da Figura 10, que ilustra as forças sobre as massas m_1 e m_2 num referencial inercial (continuaremos ignorando, na análise, as forças sobre o astro M).

Figura 10: Representação das distâncias de m_1 e m_2 ao astro M.



Fonte: Adaptada de Oliveira e Saraiva, 2014.

As duas partículas m_1 e m_2, encontram-se à distância R uma da outra, e a distância da partícula m_2 a M, está indicada por r. Para fins didáticos, essa representação da Figura 8 segue a mesma ideia da Figura 6, onde as massas m_1 e m_2, livres, na imagem, podem ser pensadas como massas em dois pontos opostos na Terra, e M, como a Lua (ou outro astro qualquer). A distância R representaria, então, o diâmetro terrestre, e F_1 e F_2 são, respectivamente, as forças com que M atrai gravitacionalmente a massa m_1 e a massa m_2.

O efeito de marés do astro M sobre a Terra pode ser estimado, para fins de comparação, pela diferença entre as forças F_1 e F_2, a qual resulta na expressão escalar:

$$\Delta F = F_1 - F_2 \qquad (2.2)$$

Aplicando a expressão da gravitação universal (2.1) na expressão (2.2), teremos:

$$\Delta F = \frac{GMm_1}{(r-R)^2} - \frac{GMm_2}{r^2} \qquad (2.3)$$

$$F_1 - F_2 = GM\left[\frac{m_1}{(r-R)^2} - \frac{m_2}{r^2}\right] \qquad (2.3.1)$$

Supondo que as massas m_1 e m_2 sejam iguais (m_1=m_2=m), e desenvolvendo as operações algébricas, temos:

$$F_1 - F_2 = GMm\left[\frac{r^2-(r-R)^2}{r^2(r-R)^2}\right] \qquad (2.4)$$

$$F_1 - F_2 = GMm\left[\frac{2rR-R^2}{r^4-2Rr^3+r^2R^2}\right] \qquad (2.4.1)$$

$$F_1 - F_2 = GMmR\left[\frac{2r-R}{r^4(1-\frac{2R}{r}+\frac{R^2}{r^2})}\right] \qquad (2.4.2)$$

Tomando r>>R, isto é, a distância r consideravelmente maior que a distância (ou o diâmetro) R, temos que: 2r – R≅2r, e $1 - \frac{2R}{r} + \frac{R^2}{r^2} \cong 1$, com isso, chegamos finalmente a:

$$\Delta F = \frac{2GMm}{r^3} R \qquad (2.5)$$

A partir da expressão acima, podemos perceber que o efeito de marés depende diretamente da massa do astro (M) que age no planeta, da própria massa m sob a ação do astro, e do diâmetro do planeta submetido à ação do astro causador das marés. Depende também, numa relação inversa, do cubo da distância entre o planeta e M.

Podemos agora analisar/comparar os efeitos de marés na Terra provocados pela Lua e pelo Sol, a partir dessa expressão, calculando a razão entre as forças de marés produzidas por cada um deles em nosso planeta.

Tabela 1: Valores de parâmetros físicos e astronômicos para cálculos das forças diferenciais de marés causadas pelo Sol e Lua.

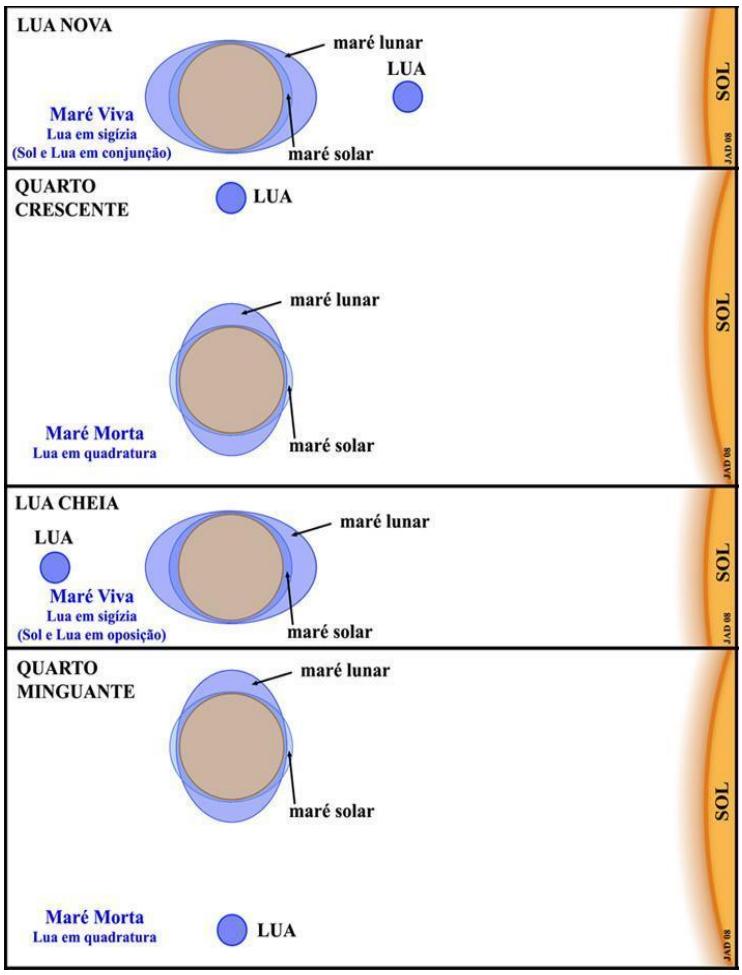
Parâmetros Físicos e Astronômicos	Valores
Massa da Terra	$5{,}973332 \times 10^{24}$ kg
Massa da Lua	$7{,}3474271 \times 10^{22}$ kg
Massa do Sol	$1{,}988 \times 10^{30}$ kg
Distância Terra-Lua	384 000 km
Distância Terra-Sol	149 597 870,700 km
Diâmetro da Terra (R)	12756,2732 km
Constante de Gravitação Universal (G)	$6{,}67428 \times 10^{-11}$ m^3 kg^{-1} s^{-2}

Fonte: Oliveira e Saraiva, 2014.

Fazendo a substituição da constante gravitacional das massas, e das distâncias envolvidas na expressão 2.5, conforme os valores que apresentamos na Tabela 1, concluímos que o efeito de marés da Lua sobre a Terra é cerca de 2,2 vezes maior que o efeito provocado pelo Sol, ou seja, nossa estrela é responsável por aproximadamente 1/3 dos efeitos de marés aqui na Terra. Os dois astros, contudo, exercem efeitos de marés (ou forças diferenciais, como chamamos) consideráveis, cuja combinação tem implicações na intensidade das marés ao longo do mês.

Assim, embora todos os dias tenhamos marés altas e baixas, ao longo do mês, nas fases de lua cheia e de lua nova, ao ficarem aproximadamente alinhados, os astros Sol-Terra-Lua, produzem efeitos de marés mais intensos. São as chamadas marés de sizígia ("de alinhamento" dos astros), ou marés vivas. Por outro lado, nas fases crescentes e minguantes, em que a Lua e o Sol estão posicionados perpendicularmente entre si, em relação à Terra, as marés (conhecidas como marés de quadratura ou marés mortas) são mais "contidas", de mais baixa amplitude. A Figura 11, a seguir, ilustra tais condições.

Figura 11: Representação das marés de sizígia (marés vivas) e das marés de quadratura (marés mortas).



Fonte: Glossary – Maré. In: Revista de Gestão Costeira. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/mare.html>. Acesso em: 30 dez. 2020.

A partir dessas análises, vemos que a Teoria do Equilíbrio permite explicar a origem astronômica das marés de uma forma que apresenta conceitos embasados, lógicos, e ainda, demonstra qualitativamente. Explicamos também as variações das marés ao longo do dia e do mês. Porém, é importante lembrar as limitações do modelo de Newton, e enfatizá-las para os alunos.

Por exemplo, como em sua teoria, Newton considerou o planeta sem porções continentais, estimou marés de no máximo 1 m de amplitude, as quais ocorreriam em locais próximos à linha do Equador. No entanto, percebemos que as alturas das marés são muito variadas, de acordo com o local. Em Natal, por exemplo, segundo as tábuas de marés emitidas pela Marinha do Brasil, as alturas variam em torno de uma média de 2 m de altura, enquanto em alguns portos do Maranhão chegam a 8 m, e na Baía de Fundy, Canadá, em alta latitude, chega a alcançar aproximadamente 16 m, indicando claramente que outros fatores estão associados a esse fenômeno. A profundidade das águas e a forma da costa são alguns desses que interferem muito nas características das marés em determinados locais.

Lembram que mencionamos que as marés no Mediterrâneo são praticamente imperceptíveis? Pois bem, o efeito de maré resultante numa região é diretamente proporcional a quantidade de água presente nela. Não percebemos uma variação do nível de água em lagos e em mares fechados, porque não há uma quantidade suficiente de água para que o efeito de maré se torne perceptível. Já nos oceanos, que são interligados, há uma quantidade de água bem considerável, tornando, usualmente, o efeito evidente.

Apesar dessas limitações, há alguns fenômenos muito interessantes que podem ser estudados como aplicações da Teoria do Equilíbrio. Um deles é o fato de que a Terra também gera efeitos de marés, na Lua. Tais efeitos são estimados aplicando-se a expressão 2.5 à situação em que teremos a Terra agindo sobre as águas da Lua (considerando M a massa da Terra, R o diâmetro da Lua, e r a distância entre os dois astros). Comparando-se os dois efeitos, encontra-se que as forças de marés da Terra na Lua são cerca de 20 vezes as forças de marés causadas na Terra pela Lua.

Esse valor intenso das marés na Lua permite explicar, por exemplo, o fato da rotação da Lua ser sincronizada com sua translação ao redor da Terra, o que nos possibilita vermos, do nosso planeta, sempre o mesmo lado da Lua. Da mesma forma que devido a ação da Lua sobre nossas águas, nosso planeta será levado a uma sincronização semelhante, e daqui a 15 bilhões de anos o nosso dia e mês terão a mesma duração, de 35 dias.

Isso ocorrerá porque enquanto nossa rotação não está sincronizada com nosso mês, ou seja, enquanto a Terra gira num ritmo mais rápido do que aquele em que a Lua se move ao nosso redor, nossos bojos de marés tendem a acompanhar a rotação da Terra, por inércia, mas são, ao mesmo tempo puxados pela Lua, para se manterem alinhados com ela. Tem-se assim, o atrito das águas do mar na superfície da Terra, de modo que as marés estão "atrasando" o movimento de rotação do planeta. Com isso, o dia na Terra está ficando mais longo, e será assim até que o movimento de rotação da Terra se dê no mesmo ritmo da translação da Lua ao nosso redor, ou seja, daqui a cerca de 15 bilhões de anos. Enquanto a sincronização não se

completa, podemos ver também que esse atraso na nossa rotação é quase irrisório em nossa escala de vida, observando que esse número significa que, daqui a 3 milhões de anos, teremos um atraso de 1 minuto.

Pelo exposto até o momento, vemos que a interpretação de Newton para as marés, fazendo uso da Gravitação Universal, permite a compreensão tanto da origem como de alguns aspectos observáveis das marés. Porém, há limites nessa teoria que, como visto na seção anterior, foram superados somente com as teorias ondulatórias para as marés. Nossa intenção com esse material, contudo, é fomentar, particularmente, o ensino das causas astronômicas das marés.

Para isso, acreditamos que é importante discutirmos sobre as ideias que nossos alunos trazem sobre as marés, antes de iniciarem os estudos formais sobre o fenômeno. Será que eles apresentam ideias que se aproximam de alguma dessas teorias, ou até mesmo, será que já ouviram falar, ou que identificam claramente as marés? Como será que eles as caracterizam e explicam? Apresentaremos, a seguir, algumas das prováveis respostas que você terá de seus alunos, a partir de um estudo que realizamos.

3 O que os alunos pensam sobre marés

Concordamos que é muito importante saber o que nossos alunos apresentam como conhecimentos prévios, antes de iniciarmos um estudo sistemático sobre algum tema. Muitas vezes fazemos isso sem perceber. O que você, por exemplo, antes de iniciar a leitura desse texto, pensava sobre as marés? Algo lhe surpreendeu?

Pois bem, agora imagine o que os nossos alunos pensam sobre as marés. Para buscar essa resposta, pesquisamos na literatura relatos de estudos sobre o tema. Encontramos pouquíssimos trabalhos nos últimos 15 anos, desenvolvidos aqui no Brasil com foco nesse questionamento, considerando as publicações nos principais eventos e revistas da área, bem como as dissertações e teses. Em destaque, há o artigo de Baptista *et al.* (2020), sobre um estudo em Santa Catarina, e a dissertação de mestrado de Jesus (2018), na Bahia, que relataram pesquisas com alunos do Ensino Médio. Ainda que ambos tenham concluído que as marés são um fenômeno pouco compreendido entre os estudantes, esses dois trabalhos não discutiram as visões específicas de marés e de explicações para o fenômeno que os estudantes traziam, apenas alocaram as respostas quanto à proximidade delas ao modelo científico.

Tivemos contato também com um trabalho espanhol, de Corrochano *et al.* (2017), que pesquisou como alguns estudantes dos últimos anos do Ensino Básico e universitários explicavam as marés. Essa pesquisa foi realizada com estudantes que já tinham tido contato com o conteúdo de marés em alguns momentos da sua vida estudantil, uma vez que nas regiões em que o estudo foi realizado o conteúdo de marés é previsto para o currículo da educação básica daquelas localidades, e mesmo assim, os autores perceberam que a maioria das pessoas expressaram ideias que não estavam alinhadas ao conhecimento científico relacionado à origem gravitacional das marés.

Para ter uma ideia de como os estudantes em nossa realidade local pensam sobre as marés, fizemos uma pesquisa com estudantes do 1º ano do Ensino Médio de duas escolas públicas do Rio Grande do Norte, que iremos comentar neste capítulo.

Uma escola, que chamamos aqui de Escola do Centro, está localizada no centro da cidade de Natal a cerca de 2 km da Praia dos Artistas e a segunda, Escola do Interior, está localizada no município de Currais Novos, distante 180 Km de Natal. Aplicamos um questionário individual para 82 alunos de três das quatro turmas de 1° ano da Escola do Centro e para 33 alunos das duas turmas de 1° ano da Escola do Interior, totalizando 115 estudantes. Na outra turma da Escola do Centro havíamos aplicado um questionário piloto, daí ela não ser incluída nesse estudo final.

Este questionário, com 21 questões, tinha como objetivo entender como estudantes se relacionam com o ambiente da praia e mais especificamente, qual a percepção e interpretação que eles têm sobre as marés e como elas se relacionam com o meio em que estão inseridos.

As questões estavam divididas por blocos, não explicitados para os alunos, que apresentaremos na Tabela 2, a seguir. Não é possível comentarmos todas as respostas obtidas e analisadas, mas comentaremos as principais conclusões acerca das interpretações dos estudantes quanto ao fenômeno em si. Esperamos que nossa discussão possa lhe ajudar no levantamento de ideias que você venha a realizar em suas turmas; além disso, na dissertação de Dantas (2020), que se relaciona diretamente com o presente material e que você poderá acessar na página do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática da UFRN, você terá acesso à análise e discussão de um número maior de dados e questões.

Tabela 2: Blocos de análise e as questões utilizadas no questionário na íntegra.

Blocos de análise	Questões
I. Vivência e a relação cotidiana dos alunos com a praia	1. Quando foi a última vez em que você foi à praia? 2. Que praia foi? 3. Comente um pouco sobre o lhe motivou a ir e que tipo de atividades realizou por lá. 4. Com que frequência você costuma ir à praia? (Múltipla escolha) 5. O que você costuma fazer quando vai lá?
II. Percepção de astros e fenômenos numa ida à praia	6. Há algum fenômeno no céu, ou algum aspecto ligado aos astros, que você costuma prestar atenção quando vai à praia? Se sim, qual ou quais? 7. Há algum fenômeno ou fenômenos relacionados especificamente com a água, que você costuma observar na praia? Se sim, qual ou quais?
III. O que são marés e a explicação para o fenômeno	8. Você já ouviu falar em marés? Se sim, o que você acha que são? 9. Você já vivenciou alguma situação mais significativa envolvendo marés? Se sim, poderia compartilhar brevemente como foi, e em que local? 10. Que coisas ou objetos do nosso entorno natural você acha que seriam responsáveis por causar as marés?

	11. Faça um desenho ilustrando sua ideia sobre por que as marés acontecem. Utilize também legendas para ajudar a expor seu pensamento. 12. Se essas coisas ou objetos do nosso entorno natural não existissem, como seriam as marés?
IV. O conhecimento sobre os períodos envolvidos no fenômeno das marés, variações cíclicas no fenômeno e as explicações para estas	13. Você saberia dizer, mais ou menos, quanto tempo leva para a maré encher? 14. Quantas marés altas ocorrem em um dia? 15. Você acha que as marés altas têm a mesma intensidade, durante o mês? 16. Qual seria a razão para isso? 17. Você acha que as marés altas têm a mesma intensidade, durante o ano? 18. Qual seria a razão para isso?
V. A importância socioambiental das marés	19. Em que aspectos do seu dia-a-dia você acha que as marés são importantes? 20. Você acha ou já ouviu falar se esse fenômeno afeta outras pessoas, outros seres vivos, ou aspectos relevantes do ambiente? Comente sobre isso.
VI. As curiosidades e interesses dos alunos acerca do fenômeno das marés	21. Que coisas lhe geram curiosidade, e/ou você gostaria de ver discutidas numa aula ou num programa de TV, por exemplo, sobre o tema?

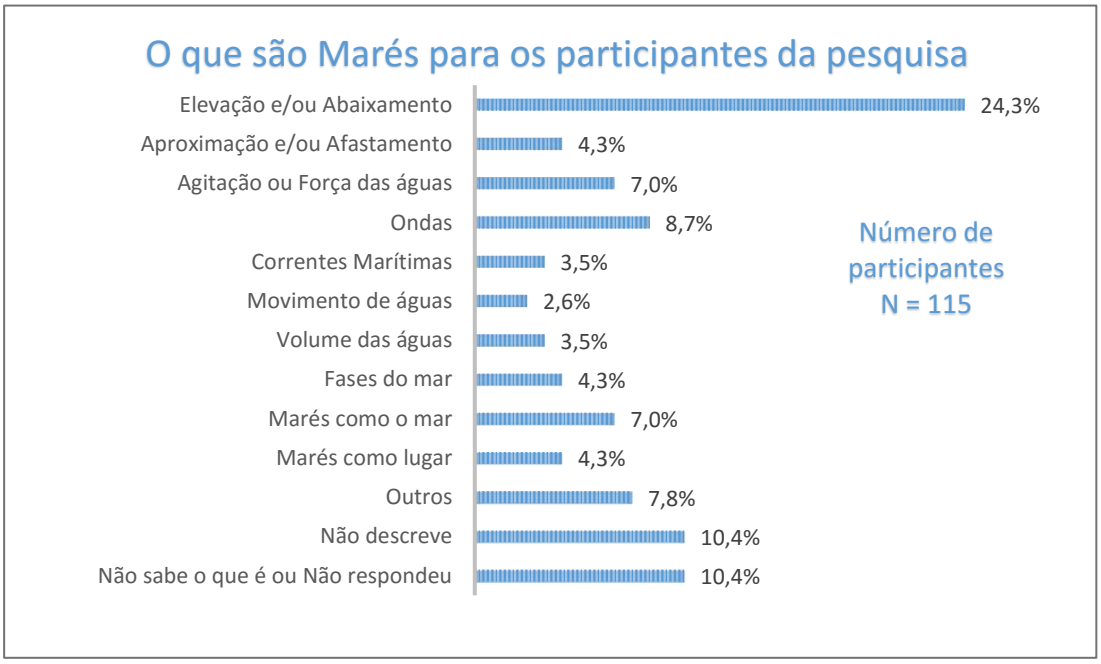
Fonte: Dantas, 2020.

Perceba que aparentemente é um questionário longo, mas a aplicação em cada turma se deu em aproximadamente 40 minutos, que é um pouco menos que a duração média de uma aula. Além disso, algumas perguntas, como a do primeiro bloco, estão relacionadas a lembranças de um dia de praia, visando promover, entre outras coisas, descontração e maior envolvimento com a atividade. Explorando esse aspecto, você pode também descobrir um aluno que tem uma vivência de marés surpreendente, por ser um surfista, quem sabe, ou ter algum parentesco com um pescador, ou alguém que vive do mar. Isso pode se tornar muito interessante em suas aulas acerca desse fenômeno.

O primeiro dado que nos chamou a atenção é que não há uma diferença significativa entre as respostas dos estudantes da Escola do Centro e da Escola do Interior quanto à frequência com que vão à praia. Em ambas as escolas, a maioria dos alunos respondeu à Questão 4 (Com que frequência você costuma ir à praia?), que era de múltipla escolha e apresentava as seguintes alternativas: *toda semana*, *uma vez ao mês*, *pelo menos uma vez a cada 3 meses*, *uma vez ao ano*, *raramente*, *outro*. Grande parte deles marcaram *Raramente*, em ambas escolas. Isto quer dizer que grande parte dos participantes de nossa pesquisa não costumam ir à praia. Fazendo um paralelo com os outros trabalhos que encontramos na literatura, os focos deles estão alinhados principalmente ao foco do terceiro bloco de questões que desenvolvemos, sobre o que são as marés e como os alunos as explicam. Compartilharemos aqui, inicialmente, os resultados que tivemos das questões 8 e 10, daquele bloco, através dos Gráficos 1 e 2.

Sobre as informações que sistematizamos nos gráficos que iremos apresentar, é importante esclarecer que as respostas dos alunos foram classificadas em categorias que propusemos a partir de uma análise nossa sobre o conteúdo delas, fazendo uso da análise de conteúdo (BARDIN, 2011). Além disso, destacamos que uma resposta a uma questão específica poderia contemplar conteúdos que a inseria em mais de uma categoria; por isso, o somatório das porcentagens de respostas a todas as categorias nem sempre resulta em 100%.

Gráfico 1: Respostas dos participantes da pesquisa sobre o que são marés e frequência com que essas respostas aparecem entre eles.



Fonte: Dantas, 2020.

Quase um quarto dos alunos escreveram respostas que interpretamos como uma identificação do fenômeno de marés com a *Elevação e/ou Abaixamento* do nível de água do

mar. Porém, especificamente na Escola do Interior, como mostrado em Dantas (2020), grande parte dos alunos ficou dividida entre essa visão (de *Elevação e/ou Abaixamento*), e a de *Ondas* (marés e ondas consideradas como o mesmo fenômeno), ambas com 15,2% das respostas; isso pode nos indicar que a vivência das marés, mais comum para os alunos da Escola do Centro, é um fator muito importante a ser considerado.

Outra ideia que encontramos em alguns estudantes foi a identificação das marés com a manifestação de águas mais agitadas, no mar, ou com a força das águas do mar em obstáculos (*Agitação ou força das águas*).

As respostas que identificam as marés com Ondas ou com a Agitação ou Força das águas nos alertam sobre a necessidade de construir com os alunos o reconhecimento do fenômeno como a subida e abaixamento *regular*, *diário*, das águas do mar, diferenciando-o de outros fenômenos que também ocorrem com as águas do mar.

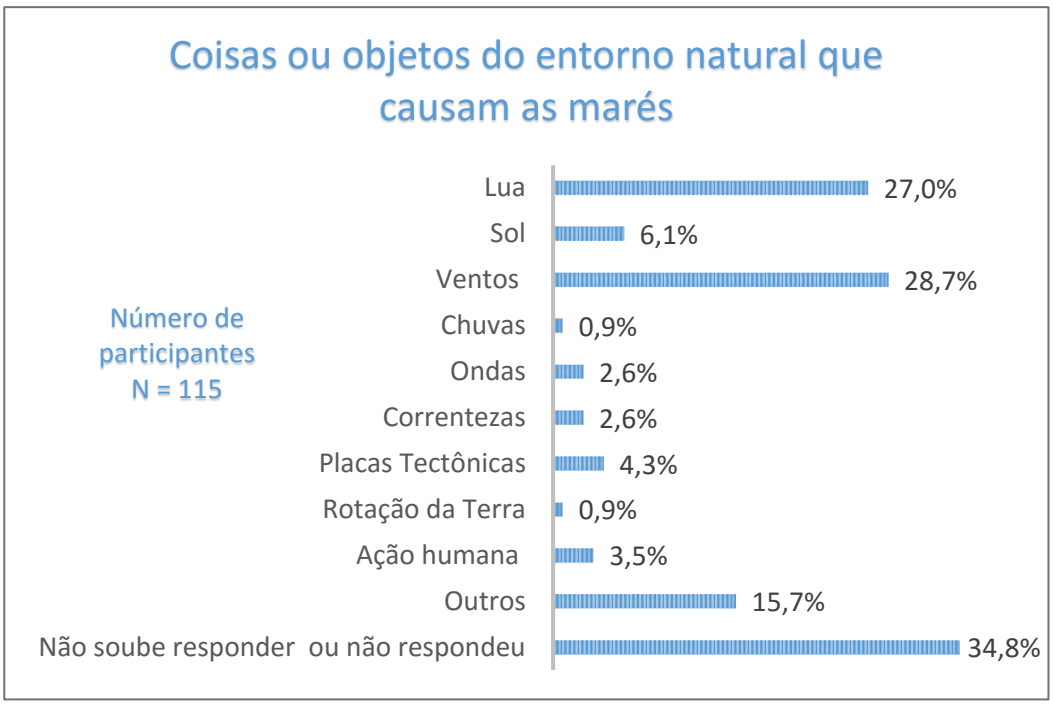
Chamamos atenção, ainda, para as respostas do tipo *Marés como um lugar*. Os estudantes que apresentaram essas respostas nos indicaram que a maré é um local específico. Um dos estudantes da Escola do Centro escreveu que as marés é "*onde 'fica' os caranguejos e o mangue*". Em alguns lugares próximo ao Rio Potengi, em Natal, é comum as pessoas chamarem de "maré", esses lugares ribeirinhos que sofrem variações do nível de água.

Entre as respostas caracterizadas como Outros, que apareceram em menor proporção estão: "*ventos no mar*", "*peixes que nadam num só comando*", "*tempo inexplicável*", "*águas tipo esgotos*" e "*a profundidade dos oceanos*". Em todos esses casos faz-se necessário o diálogo para uma reconstrução do entendimento das marés.

O Gráfico 2 apresenta uma sistematização das respostas em que os alunos descrevem o que consideram ser a causa das marés. Este gráfico talvez seja um dos mais importantes para explorar os aspectos relacionados às teorias criadas ao longo da história.

Os astros causadores das marés foram citados entre os estudantes, em especial a Lua com 27% das respostas. Porém, o que nos chama atenção é que a maioria deles não soube responder ou não respondeu. Dentre os alunos que responderam, quase 30% indicaram os *Ventos* como principal causador das marés. Um aluno apresentou a *Rotação da Terra* como causadora das marés, o que a princípio remete a um diálogo que pode ser desenvolvido pelo professor com as ideias centrais da teoria galileana. As respostas enquadradas em *Outros* foram: *astros* (indicados com esse termo mais geral), *pedras*, *areias*, *nuvens*, *temperatura*, *clima*, *choques* (descargas elétricas), *oceanos*, e até mesmo o *deus Poseidon*, que, como sabemos, segundo a mitologia grega é o deus dos mares.

Gráfico 2: Coisas ou objetos do entorno natural que causam as marés e frequência com que foram citados pelos alunos.



Fonte: Dantas, 2020.

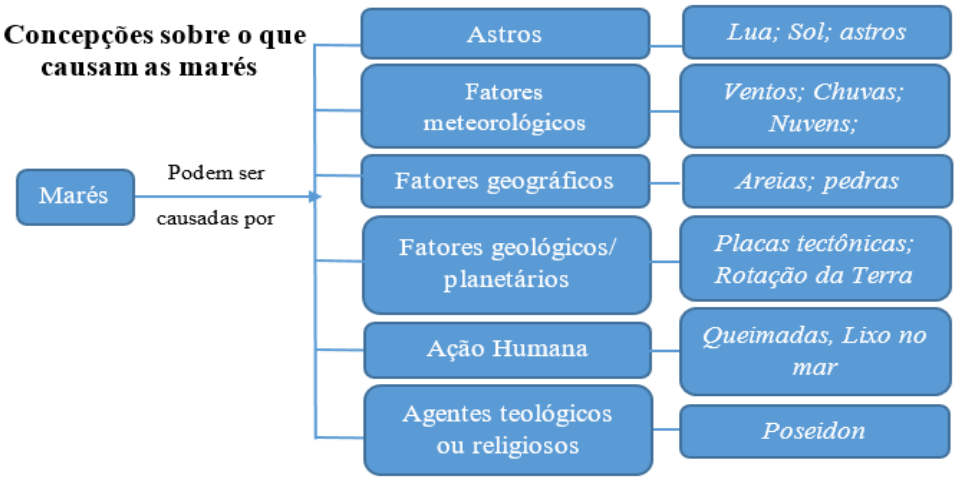
Nessa pergunta e nas outras, que se sucederam neste e no bloco IV, houve muitas respostas em branco ou em que os alunos afirmaram não saber indicar resposta.

Você pode estar se perguntando se os alunos apresentaram algo relacionado à gravitação. Pois bem, explicitamente, apenas 4 estudantes (3,5% dos estudantes) apontaram respostas que estavam relacionadas à gravitação, força e/ou atração, um desses comentou apenas atração, mas não especificou nenhum astro associado, um apontou gravidade e o outro, força gravitacional. Entre outros aspectos, esse resultado reforça para nós a expectativa de que o ensino sobre o tema das marés, na Física, pode vir a contribuir para uma maior significação do ensino sobre gravitação e para o próprio ensino da Astronomia.

A Figura 12, a seguir, esquematiza as principais concepções de marés que os alunos apresentaram em nossa pesquisa e pode auxiliar na análise e organização das respostas que a sua turma venha a apresentar, e em suas reflexões sobre os diálogos relevantes a construir com seus alunos para tratar desse tema. O capítulo seguinte será destinado a sugestões para o ensino, mas já frisamos que discutir o resultado obtido acerca das concepções sobre o fenômeno das marés com os estudantes pode ser muito rico, visando a socialização das ideias surgidas entre eles e o debate sobre o que diferencia as marés de outros fenômenos conhecidos, nas águas do mar. Além disso, o diálogo sobre as diferentes concepções da turma pode favorecer a discussão

sobre os diversos graus de identificação do fenômeno e as diferentes explicações científicas, ao longo da história, na tentativa de se compreender o mesmo.

Figura 12: Esquema de concepções sobre o que causam as marés, de acordo com as respostas dos participantes.



Fonte: Dantas, 2020.

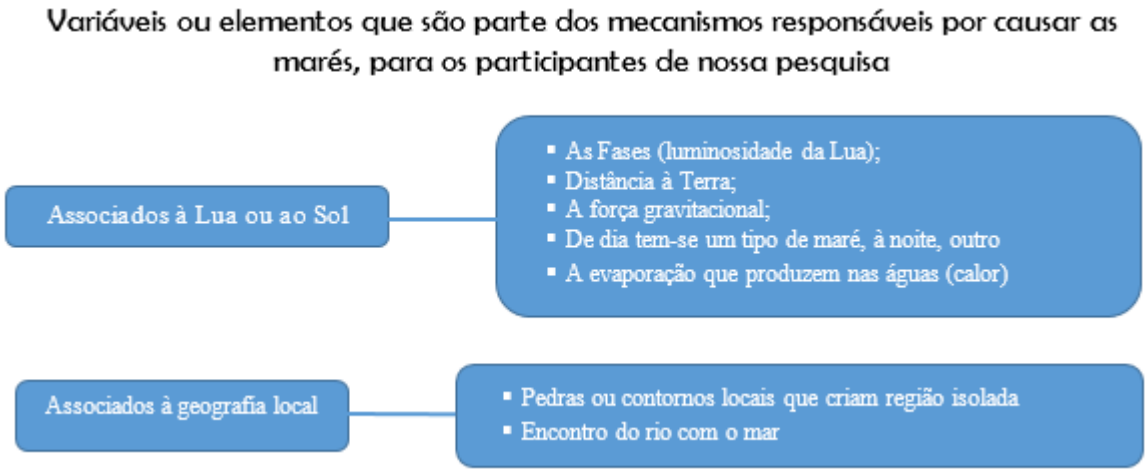
Além das perguntas para serem respondidas na forma de texto, sobre a explicação para as marés, a questão 11 de nosso questionário pedia para que o aluno fizesse um desenho, com legenda, apresentando a visão dele sobre por que as marés acontecem. É importante ressaltar que, para uma melhor análise dos desenhos e das respostas ao questionário como um todo, pretendíamos desenvolver entrevistas com os participantes, porém, em função da pandemia da COVID, 19 nos restringimos, nesse primeiro momento, às informações dos questionários. Contudo, a análise que fizemos dos desenhos, que foi também uma análise de conteúdo, levou em consideração, além do desenho em si, a legenda que eles apresentavam e as respostas dadas pelos alunos às questões textuais anteriores.

Tivemos desenhos bem interessantes, que retomavam algumas características relacionadas ao que os alunos apresentaram na forma de texto, em resposta anterior, sobre o que causava as marés. Ao mesmo tempo, outros desenhos foram menos informativos, e não pareciam evidenciar o agente que, conforme o aluno apontara antes, causava as marés.

Em Dantas (2020) você encontrará uma discussão mais completa sobre o que interpretamos acerca dos desenhos dessa pesquisa, enquanto aqui, optamos por destacar características daqueles que explicitavam não apenas o agente causador das marés mas sugeriam, ainda, de que maneira esse agente atuava, ou seja, por qual "mecanismo", ou a partir de que variável associada àquele agente, se dava a produção das marés. Apesar de ter sido um número pequeno de respostas com essas características (5 desenhos de 68), é interessante as apresentarmos aqui, tendo em vista que elas acrescentam informações em relação às questões discutidas anteriormente. Desse modo, no esquema que apresentamos na Figura 13,

sistematizamos um resumo das informações que inferimos desses desenhos sobre mecanismos ou variáveis que eles sugeriam, e nas Figuras 14, 15, 16 e 17 ilustramos alguns deles.

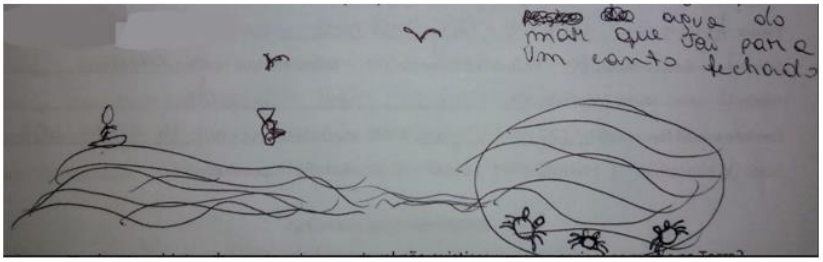
Figura 13: Esquema representativo das variáveis relacionadas às causas das marés, identificadas nos desenhos dos participantes.



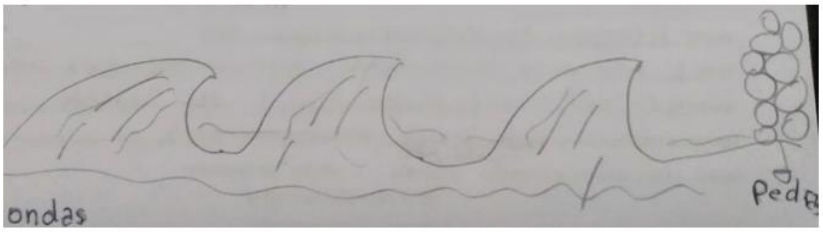
Fonte: Dantas (2020).

Figura 14: Desenho representando a geografia local como principal fator para as marés acontecerem. Legenda da Figura 14 A: "*água do mar que vai para um canto fechado*".

A



B

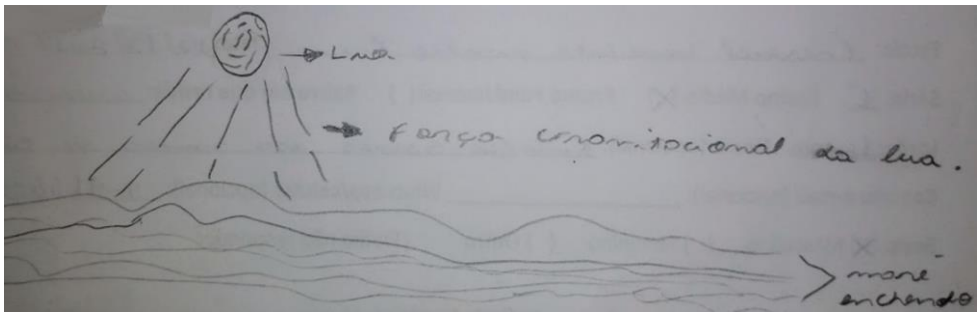


Fonte: Dantas (2020).

Figura 15: Desenho indicando a variação na distância da Lua como (parte do) mecanismo causador das marés.

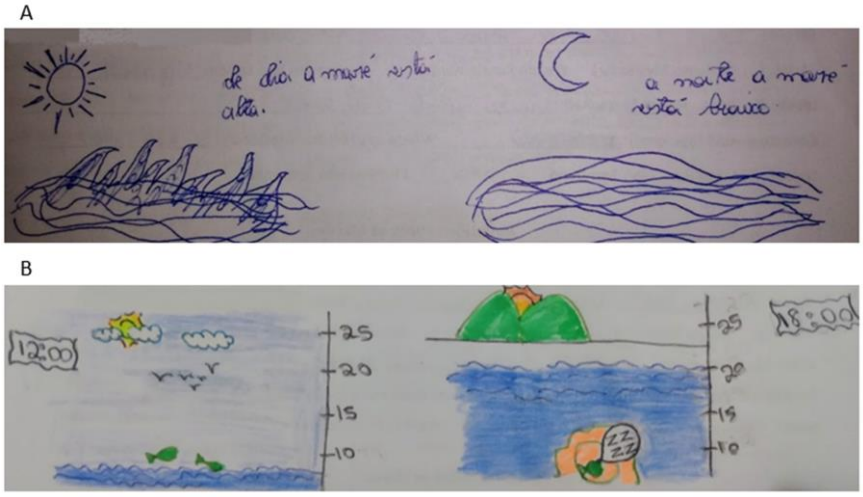
Fonte: Dantas (2020).

Figura 16: Desenho representando a força gravitacional da Lua como parte do mecanismo causador das marés.



Fonte: Dantas (2020).

Figura 17: Desenhos representando uma relação entre dia e noite com prováveis mecanismos que produzem as marés.



Fonte: Dantas (2020).

Para o desenvolvimento desse levantamento, não estávamos preocupados apenas com a semelhança do entendimento que os alunos apresentam sobre as marés com o conhecimento científico, mas inferir a visão deles sobre o fenômeno, antes de o estudarem. Dentre as respostas dos alunos podemos perceber que houve várias formas de compreensão sobre as marés, o que pode oferecer elementos para diálogos a serem construídos com os alunos, no ensino desse tema. No entanto, percebemos também que uma boa parte dos estudantes não indicaram qualquer resposta. Isto também aconteceu quanto às causas citadas por eles para o fenômeno. Foram dezenove agentes causadores citados, no geral, pelos alunos que responderam sobre esse ponto, porém quase 35% dos participantes não indicaram resposta ou disseram não saber porque as marés aconteciam. E ainda, entre as respostas que obtivemos, pouquíssimos alunos citaram o fator gravitacional das marés, conforme comentamos anteriormente. Outro aspecto interessante de destacarmos é que apenas um aluno de todos os participantes - o que considerou a rotação como causa para as marés - optou por fazer um desenho com uma representação da Terra no espaço, para explicar o fenômeno. Essas lacunas, e ainda, a forma como alguns conceitos foram percebidos pelos alunos nas respostas a outras questões, nos indicam a necessidade de intensificar o Ensino de Astronomia na Educação Básica. Iremos abordar isso novamente no próximo capítulo.

Quanto às questões do bloco V (A importância socioambiental das marés), muitas relações entre marés e o cotidiano dos alunos, ou entre marés e a vida de outros seres vivos ou o ambiente foram contempladas, compondo categorias de respostas tais como: *Banho de mar e práticas esportivas*, *Pesca*, *Afetam outros seres vivos*, *Avanço do mar nas casas e ruas*, entre outras. Porém, quase metade dos alunos não respondeu ou informou não saber sobre essas relações. Talvez isso possa estar relacionado àquela vivência limitada dos alunos na praia, mas de todo modo ilustra também a importância de levarmos o tema das marés para o Ensino Médio buscando aproveitar todo o seu potencial interdisciplinar.

Esperamos que os resultados e discussões aqui apresentados venham a lhe ajudar a se preparar, seja quando surgirem ideias próximas a essas que encontramos, em seus alunos, seja indicando possíveis questionamentos e provocações que você poderá levar para a sua turma, no desenvolvimento desse tema. No próximo capítulo, retornaremos à importância de haver esse levantamento de ideias.

4 Sugestões para o Ensino de Marés

Almejamos que o apresentado até o momento tenha favorecido o entendimento e ampliado a compreensão que você já tinha, anteriormente, sobre o fenômeno de marés. A ideia neste último capítulo é apresentarmos algumas sugestões e dicas que venham a lhe auxiliar durante suas aulas sobre esse tema. Não iremos construir uma sequência de ensino nem um plano de aula sistematizado sobre marés, entretanto esperamos que as reflexões desenvolvidas no material e as dicas que traremos agora venham a lhe instigar e ajudar nesse importante passo do planejamento.

Certa vez, um colega professor, numa aula sobre ondas, comentou que a visualização de um fenômeno é mais prazerosa do que o desenvolvimento de cálculos para sua descrição. Acredito que você venha a concordar com essa afirmação. Imergir na contemplação das ondas do mar, ou das cores de um entardecer, desperta a sensação de que estamos diante de algo realmente encantador. No entanto, pode, também, despertar em nós uma curiosidade científica, uma vontade de buscar entender como isso realmente acontece, e, como defende Jafelice (2010, p. 219, grifo do autor), é mais proveitoso e memorável "a criação de estratégias pedagógicas que propiciem *vivências*, *antes* de incitar as pessoas a pensarem conceitualmente ou refletirem sobre os conteúdos".

Com essa premissa, a primeira sugestão que fazemos para o ensino de marés é a contemplação, se possível, em grupo, do fenômeno. As aulas de campo muitas vezes se tornam as mais significativas para os estudantes, e até mesmo para os professores.

Apresentamos, no início do nosso material, que o fenômeno de marés tem um forte potencial interdisciplinar, o que pode favorecer um projeto de uma aula de campo em conjunto com os professores de Biologia e Geografia de sua escola, por exemplo. No decorrer de 4 horas, num dia de aula normal, é possível desenvolver diversas atividades com os estudantes em um local litorâneo em que eles possam estar percebendo a mudança do nível de marés. Durante esse tempo, você poderia levantar as concepções dos alunos sobre as marés, discutir sobre quais aspectos as marés são importantes, sempre dialogando com os outros professores, impulsionando a interdisciplinaridade. Outra opção pode ser levantar as concepções em classe, num dia anterior ao dia da aula de campo, e provocar observações e questionamentos que façam uso das ideias levantadas junto aos alunos.

Dentre os trabalhos relacionados a marés com que tivemos contato, a dissertação de Priscila Rezende (2017), da Universidade Estadual de Santa Cruz, em Ilhéus/Bahia, propõe uma atividade interessante para ser desenvolvida numa aula na praia. Junto aos alunos, ela construiu um medidor de marés simples utilizando uma corda de 15 m, um cano PVC de 15 cm de diâmetro, uma alça de ferro para prender a corda a uma base de cimento, fita isolante para

marcação de meio em meio metro, desde a base, e pintadas com cores diferentes para indicar cada marcação. O objeto, ilustrado pela Figura 18, pode ser produzido anteriormente e levado à aula para os alunos realizarem as medições, a cada 30 minutos, por exemplo.

Figura 18: Medidor de marés, de baixo custo desenvolvido por Rezende (2017).

Fonte: Rezende (2017).

É importante, antes de colocar o seu medidor de marés, saber qual o horário em que a maré, no local da aula, estará no nível médio. Isto é, nem baixa nem alta. E para perceber a subida, é necessário estar lá durante um momento de subida das águas. Para lhe ajudar com isso, é bom ter em mãos uma tábua de marés que é facilmente obtida no site da Marinha do Brasil, como já falamos anteriormente.

Sabemos que há dificuldades logísticas em projetos de aulas de campo, porém é uma proposta que pode ser pedagogicamente muito rica, e você poderá ter a ajuda dos outros colegas professores na produção do projeto.

Em sala de aula, se não for possível a atividade de campo, você pode apresentar aos alunos alguns vídeos na plataforma YouTube com alguns *time-lapses*[3] de ascensão e descida o nível da maré. Claro que seria mais interessante se você filmasse ou fotografasse vários momentos ao longo da subida e/ou descida do nível da água em um local que seja conhecido de seus alunos. Basta posicionar a câmera em um local fixo, e acompanhar essas variações. Porém, apresentamos na Tabela 3 alguns links de vídeos em time-lapse, de marés em algumas regiões do globo, com informações sucintas sobre o vídeo e seu local de filmagem.

[3] *Time-lapse* é uma técnica cinematográfica que permite a exibição de longos eventos em um curto espaço de tempo. Normalmente são vídeos em *time-lapse* não excedem 2 minutos de duração.

Tabela 3: Links de vídeos em *time-lapse* de momentos de variação de marés, informando o local e descrição geral.

Local	Descrição	Link
Praia do Farol Velho, em Salinópolis - Pará	Essa é a praia que comentamos no primeiro capítulo, na qual é comum pessoas esquecerem da rápida subida das marés e terem os carros alagados, às vezes levados, pelas águas.	https://www.youtube.com/watch?v=ysfrHjwGwL4
Praia de Bitingui - Alagoas	Time-lapse feito com 1504 imagens.	https://www.youtube.com/watch?v=aQPDjiTh8bI
Região da Bretanha – Norte da França	Mostra inicialmente vários barcos sobre a areia e, após a subida da maré, eles podendo navegar	https://www.youtube.com/watch?v=9Yg4If3ORak
Monte de Saint-Michel, região da Normandia – Norte da França	O monte de Saint-Michel, durante o processo de subida das marés, se transforma numa "ilha de pedra"	https://www.youtube.com/watch?v=ks90u6nY26M
Baía de Fundy, região ao extremo nordeste do Canadá	Time-lapse de uma das maiores variações de marés do planeta, aproximadamente 16 metros entre a maré mais baixa e a maré mais alta. Já citada anteriormente nos dois primeiros capítulos.	https://www.youtube.com/watch?v=EnDJ6_XpGfo
Porto do Alasca, ao extremo noroeste da América do Norte	Nível de maré variando desde as 15h do dia 02/07/2019 até às 22h do dia 03/07/2019. Este vídeo apresenta a variação da altura em pés (ft, em inglês). 1 ft. = 30 cm.	https://www.youtube.com/watch?v=cNeeRi_dbWU

Fonte: Disponível em YouTube. Acesso em: 30 dez. 2020.

Além desses vídeos, algumas atividades práticas que tentem reproduzir aspectos das explicações para o fenômeno, por exemplo, podem ser desenvolvidas.

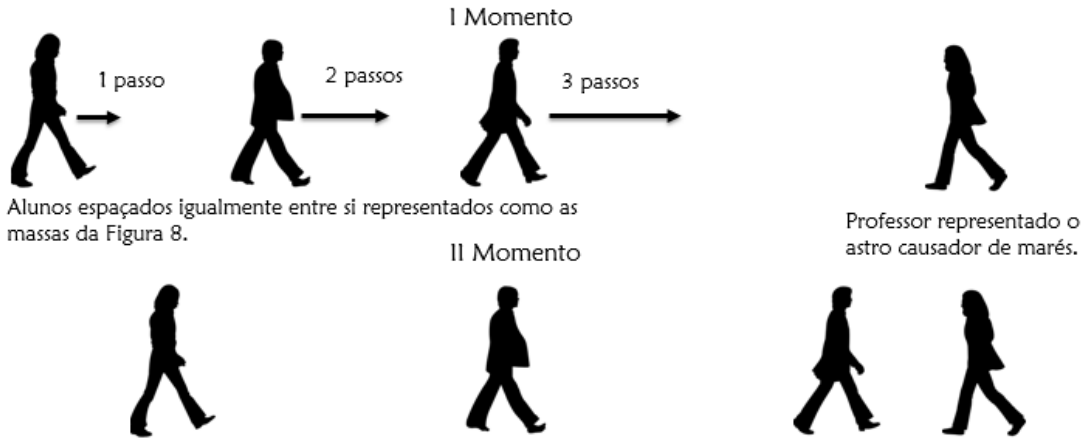
Uma possível atividade corporal para ajudar a ilustrar o efeito de termos forças (gravitacionais) diferentes agindo em massas que se encontrem em pontos extremos da Terra e em seu centro, na direção de um astro (conforme a analogia que adotamos no capítulo 2, através da Figura 8), pode ser realizada com três pessoas de pesos similares (ou a serem ignorados) representando as massas espaçadas igualmente entre si, numa fila.

Você pode começar só com as três pessoas, alinhadas e próximas a você, e analisar com a turma o efeito de termos massas com velocidades diferentes entre si, no referencial da turma (Figura 19).

Peça e ensaie com o restante da turma a marcação da passagem do tempo, por unidades, por meio de palmas. Combinem um ritmo em que irão bater palmas juntos, para indicar a passagem de segundos, por exemplo.

E combinem ainda que, quando o tempo "começar a passar", a cada unidade de tempo, a pessoa mais próxima de você irá dar 3 passos em sua direção, a segunda dará 2 passos, e a terceira, apenas 1, ilustrando uma velocidade (média) maior para as massas mais próximas, sendo a menor para a massa mais distante.

Figura 19: Esquema ilustrativo de atividade corporal envolvendo a formação dos dois bojos de marés.



Fonte: Adaptado de Pinterest. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/471400285998316963/>. Acesso em 30 dez. 2020.

Após "parar o tempo", depois de uma ou duas unidades marcadas pela turma, peça para os alunos discutirem o que aconteceu com a distância entre as três pessoas (massas). O afastamento entre essas massas, com velocidades médias diferentes, irá ficar evidente. Você deve aproveitar e perguntar também como a pessoa do centro descreveria as mudanças de posição

em relação a ela, interpretando com os alunos que, para aquela pessoa, as das extremidades se moveram em sentidos opostos em relação a ela.

Após isso, discuta com a turma sobre o que aconteceria se repetíssemos a situação anterior partindo agora de velocidades com valores tais que a da pessoa mais próxima de você fosse ainda maior do que a do meio, e a dessa, ainda maior do que a da pessoa mais distante de você. A ideia é compreender que se tivermos acelerações (médias) diferentes entre as massas e conforme as distâncias delas ao professor, o efeito do afastamento deverá ser ainda maior. Assim, o que foi ilustrado para velocidades relativas com os movimentos das pessoas, serve para pensar o que ocorre com as acelerações relativas.

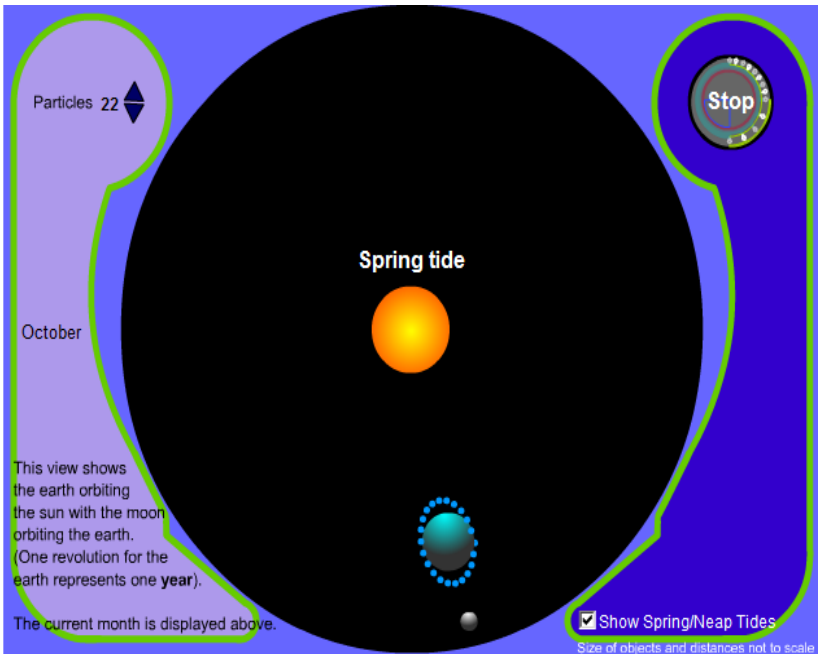
Nesse momento, deve ser discutido que o professor pode ser pensado como a Lua gerando diferentes acelerações nas massas alinhadas com ele, retomando a analogia das massas com pontos da Terra alinhados com a Lua, também. Porém, é importante chamar a atenção para os fatos de que: a) na Terra (as três massas como pontos dela) as massas não chegam a se separar, por estarem ligadas entre si por meio de forças internas entre as partículas, embora as águas, por serem um fluido, respondem mais nitidamente à tendência ao afastamento imposta pelo campo gravitacional não uniforme da Lua; b) as massas ou a Terra não estão paradas diante da Lua, ao ser/em acelerada/s. Essa então é uma boa hora de apresentar a ideia de que não apenas a Lua gira ao redor da Terra, mas a Terra também gira ao redor (do centro de massa dela com) a Lua, de maneira que a aceleração provocada pela Lua apenas mantém a Terra nessa órbita. Ou seja, da mesma forma que a Terra atrai a Lua e o movimento da Lua ao redor da Terra evita que nosso satélite caia para o centro da Terra, o movimento da Terra ao redor do centro de massa dela com a Lua evita que nosso planeta caia na direção daquele astro, mesmo sendo atraído em sua direção.

Essa atividade é realizada por um dos autores desse material na disciplina de Astronomia Básica para a Licenciatura em Física da UFRN. Acreditamos que, utilizando-se de forma precisa os conceitos e analogias envolvidos nela, e com tempo para conferir os significados atribuídos pela turma, ela poderá ajudar os alunos a entender a formação de *dois* bojos de marés na Terra - e não só um no ponto mais próximo do astro causador, como alguns estudos sobre concepções de marés registram ser comum os estudantes pensarem que acontece (CORROCHANO *et al.*; SILVEIRA, 2003).

A ajuda de simuladores virtuais pode ser muito interessante para um momento de análise, após haver uma primeira teorização sobre as marés. Separamos um link de simulador online gratuito que você pode utilizar em suas aulas, e comentaremos um pouco sobre a dinâmica dele.

O simulador *Tides Simulator*[4] (Figura 20), desenvolvido pela Universidade de Utah, nos Estados Unidos da América, nos ajuda a perceber as variações de marés ao longo de um mês, indicando quando há as Marés de Sizígia e de Quadratura - os termos em inglês são, respectivamente, *Spring Tides* e *Neap Tides*.

Figura 20: Interface do site com o *Tides Simulator*.



Fonte: *Tides Simulator*. Disponível em: <http://sunshine.chpc.utah.edu/Labs/Tides/tides_simulator.html> . Acesso em: 30 dez. 2020.

O lado superior esquerdo, lhe dá opção de escolher a quantidade de partículas que você deseja representar ao redor da Terra, em azul. Quanto mais partículas, mais contínuos serão os bojos de marés. Sempre que houver as marés de Sizígia e Quadratura, será avisado acima do Sol, como na Figura 20. Ao lado esquerdo está a representação do mês em que está acontecendo essas marés. E na parte superior direita, há o botão para iniciar ou pausar a simulação.

Durante as suas aulas sobre marés, será muito importante relembrar - ou ensinar (caso eles ainda não tenham tido oportunidade de estudá-los na escola) - alguns conceitos de Astronomia com os seus alunos. Percebemos, em algumas respostas que obtivemos na pesquisa comentada no capítulo anterior, algumas confusões com termos e significados relacionados às fases lunares. Ou, muitas vezes, vimos o desconhecimento de uma relação entre o período do mês e as próprias fases da Lua, da mesma forma, com a translação desta ao redor da Terra.

[4] Simulador de Marés disponível em: <http://sunshine.chpc.utah.edu/Labs/Tides/tides_simulator.html>. Acesso em: 30 dez. 2020.

Então, é fundamental, quando estiver conceituando as variações de marés ao longo de um mês, que procure garantir, na turma, uma compreensão sobre o fenômeno das fases.

Para suporte nos seus estudos, indicamos ainda o site brasileiro Astronomia e Astrofísica[5]. Este material foi produzido e é corriqueiramente atualizado pelos professores Kepler Oliveira e Maria de Fátima Saraiva, do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este site possui diversos temas que podem ser explorados em suas futuras aulas, entre eles, Marés, Fases da Lua, Newton, Gravitação, entre outros. O próprio material que acaba de ler possui muitas referências oriundas deste site, muito utilizado desde os estudos de graduação na Universidade. Recomendamos também a leitura da dissertação associada a esse produto, e os artigos sobre história das teorias de marés, que citamos no capítulo 2 desse texto.

Ao finalizarmos nosso material, esperamos ter auxiliado na organização do conhecimento que você já tinha sobre as marés e ajudado na construção de novas ideias e interpretações desse fenômeno astronômico que está relacionado a tantos fenômenos em nosso planeta.

Esperamos ainda que tenhamos despertado em você reflexões sobre a importância do Ensino de Astronomia para a Educação Básica, tendo em vista que é uma das ciências mais antigas que temos conhecimento, e que possui grande potencial para a compreensão não apenas de nosso lugar no Universo, mas também da própria dinâmica de nosso planeta, como o tema de marés, em especial permite evidenciar. Acreditamos que são visões importantes para serem estimuladas com nossos alunos.

---

[5] Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/index.htm#gsc.tab=0>. Acesso em: 30 dez. 2020.

Referências

ALVES, J. R. P. (Org.). **Manguezais: Educar para Proteger**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar: SEMADS, 2001.

BAPTISTA, C. M. F.; LAWALL, I. T.; CLEMENT Luiz. Significados produzidos por estudantes do Ensino Médio sobre fenômeno das marés em aulas investigativas. **Revista Electrónica De Investigación En Educación En Ciencias**, Argentina, 15º ano, n.1, p. 33-49, julho de 2020 .

BARDIN, Laurence. Análise do conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Educação é a Base. Brasília, 2018. Disponível em:<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf >. Acesso em: 27 jul. 2020.

CASE, J. **Understanding Tides**—From Ancient Beliefs to Present-day Solutions to the Laplace Equations SIAM News: Volume 33, Number 2, March 2000.

CORROCHANO, D.; GÓMEZ-GOONÇALVES, A. (Universidad de Salamanca, Espanha); SEVILLA, J. (Universidad de Olviendo, Espanha); PAMPÍM-GARCÍA, S. (IES Galileo, Valladoliv, Espanha). Ideas de estudiantes de instituto y universidad acerca del significado y el origen de las mareas. In: **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, p. 353–366, 2017.

DANTAS, J. H. S. Um material para professores de física sobre o ensino de marés na Educação Básica. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

EKMAN, Martin. A concise History of Theories of Tides, Precession-Nutatuion and Polar Mortion (from antiquity to 1950). **National Land Survey, Division of Geodetic Research**, Guvle, Suécia, n. 14, p. 518-617, Maio de 1993.

FRANCIS J.; MWINUKA S.; RICHMOND, M. **A Schoolteacher's Guide to Marine Environmental Education in the Eastern African Region**. UNEP/FAO. 1999.

JAFELICE, Luiz Carlos. Abordagem Antropológica: educação ambiental e astronômica desde uma perspectiva intercultural. In: **Astronomia, Educação e Cultura: Abordagens transdisciplinares para vários níveis de ensino.** Natal, RN: EDURN, 2010. P 213-262.

JESUS, Antônio Marcos. **Concepções apresentadas por estudantes do Ensino Médio da Baia de Camamu e de São Miguel das Matas com relação ao fenômeno das marés** / Marcos Antônio Jesus. – Feira de Santana, BA: UEFS, 2018.

MARICONDA, P. R. **Galileu e a teoria das marés**: Departamento de filosofia da Universidade de São Paulo. Caderno História Filosofia Ciência, série 3, v. 9, n.1- 2, p. 33-71, 1999.

MARMER, H. A. Problems of Tides. **The Scientific Monthly**, Vol. 14, No. 3 (Mar., 1922), pp. 209-222.

_____. "On Cotidal Maps." **Geographical Review**, vol. 18, no. 1, 1928, pp. 129–143. JSTOR, www.jstor.org/stable/208766. Aesso em: 30 set. 2020.

McCULLY, James. **Beyond the Moon: A Conversational, Common Sense Guide to Understanding the Tides**: 1. ed.: World Scientific Publishing Company, 2006.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia & Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. v. 1.

_____. Astronomia & Astrofísica. [2020]. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node6.htm#SECTION00123000000000000000>. Acesso em: 30 dez. 2020.

REZENDE, Priscilla Lima. **A lua e o comportamento das marés** / Priscilla Lima Rezende. – Ilhéus, BA: UESC, 2017. 73f. : il.

SILVEIRA, L.F. Marés, Fases principais da Lua e bebês. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** Florianópolis, v.20, n. 1: p.10-29, ABR. 2003. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Fases_da_Lua_bebes.pdf> Acesso em: 30 dez. 2020.

VALENTIN, J. V.; MUELBERT, J. H.. Ambientes Marinhos. In: CASTELO, J. P.; KRUG, L. C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. p. 314-380.

ZILBERG, C. et al. **Conhecendo Recifes Brasileiros: Rede de Pesquisas Coral Vivo**. Rio de Janeiro: Museu Nacinal, UFRJ 2016.